



Esta obra está bajo una [Licencia  
Creative Commons Atribución-  
NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DEL GRANO  
SECO Y REOLÓGICAS DEL LICOR DE CACAO, EN TRES CLONES,  
CCN51, ICS95 Y ICS39, (*Theobroma cacao L.*)”**

**Tesis para optar el título profesional de  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**Autor:**

**Bach. Katia Vanesa Panduro Soto**

**Asesor:**

**Ing. Dr. Mari Luz Medina Vivanco**

**Tarapoto – Perú**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DEL GRANO  
SECO Y REOLÓGICAS DEL LICOR DE CACAO, EN TRES CLONES,  
CCN51, ICS95 Y ICS39, (*Theobroma cacao* L.)”**

**Tesis para optar el título profesional de:  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**Autor:**

**Bach. Katia Vanesa Panduro Soto**

Sustentado y aprobado ante el jurado el día 12 de enero del 2018.

.....  
**Ing. Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada**  
Presidente

.....  
**Ing. Arbel Dávila Rivera**  
Secretario

.....  
**Ing. Angel Chavez Salazar**  
Miembro

.....  
**Ing. Dr. Mari Luz Medina Vivanco**  
Asesora

## **Declaratoria de Autenticidad**

Yo, **Katia Vanesa Panduro Soto**, identificada con DNI N°70466766, egresada de la Facultad de Ingeniería de Agroindustrial, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la Tesis titulada: **“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DEL GRANO SECO Y REOLÓGICAS DEL LICOR DE CACAO, EN TRES CLONES, CCN51, ICS95 Y ICS39, (*Theobroma cacao L.*)”**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. El trabajo de tesis no ha sido auto plagiado; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto.

Tarapoto, 08 de mayo del 2018.

**Katia Vanesa Panduro Soto**  
DNI N°42547514





**Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.**

**1. Datos del autor:**

Apellidos y nombres: PANDIRO SOTO KATIA VANESA	
Código de alumno : 092J55	Teléfono: 920626611
Correo electrónico : Kativane_30@gmail.com DNI: 70466766	

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

**2. Datos Académicos**

Facultad de: Ingeniería Agroindustrial
Escuela Profesional de: Ingeniería Agroindustrial

**3. Tipo de trabajo de investigación**

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

**4. Datos del Trabajo de investigación**

Título: "Estudio de las propiedades físico Químicas del grano seco y reológicas del licor de cacao, en tres clones CCN51, ICS95 y ICS39 (Theobroma cacao L.)"
Año de publicación: 2018

**5. Tipo de Acceso al documento**

Acceso público *	(X)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:


**6. Originalidad del archivo digital.**

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

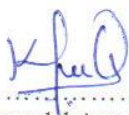
## 7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **“Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA”.**



Firma del Autor

## 8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

17 / 05 / 18



Firma del Responsable de Repositorio  
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso  
Abierto de la UNSM – T.

**\*Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**\*\* Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

## **DEDICATORIA**

Dedico con todo mi cariño y amor a **DIOS** por su infinita bondad y grandeza, por darme la vida, ya que sin él en mi horizonte, no habría sido posible conseguir mis metas trazadas.

A mis padres: **Asencia Soto Rengifo** y **Segundo Teófilo Panduro Silva**, que con su dedicación, ejemplo y amor inculcaron en mí valores, me ayudaron a formarme y crecer como persona, apoyándome y motivándome siempre, para cumplir con mis objetivos y metas trazadas.

**Katia Vanesa**

## AGRADECIMIENTOS

A Dios y a mis Padres Asencia Soto Rengifo y Segundo Teófilo Panduro Silva, por su esfuerzo y apoyo durante toda mi carrera universitaria, siendo un ejemplo y motivación para poder terminar mis estudios con éxito.

Quiero agradecer a todas las personas que de alguna manera u otra, formaron parte de esta investigación. A mi familia que gracias a ellos fue fácil obtener las muestras a investigar.

De manera especial a mi asesora Mari Luz Medina Vivanco, gracias por todo el tiempo que dedicó en la investigación, por orientarme, compartir sus conocimientos y formar parte de mi desarrollo profesional.

De igual forma gracias, al Ing. Richer Garay Montes por su colaboración y apoyo en el laboratorio de investigación, agradecer a los trabajadores del laboratorio de Agroindustrias, donde realice mis análisis proximales, por sus apoyo y por brindarme su amistad.

A la Universidad Nacional De San Martin por dejarme hacer las investigaciones en sus ambientes. A los profesores de la F.I.A.I por enseñarme nuevas tecnologías a desarrollar en el ejercicio de mi profesión.

A la Cooperativa Agraria Cacaotera ACOPAGRO por permitirme hacer uso de sus equipos para realización de la elaboración de muestras a investigar.

Finalmente un agradecimiento especial a todas aquellas personas que me acompañaron a lo largo de esta hermosa vida universitaria, haciendo que el camino a seguir a pesar de todas sus dificultades, sea más fácil y llevadero, amigos míos, gracias por todo, los llevaré presentes siempre.

**Katia Vanesa**



## ÍNDICE

	Pág.
CARATULA.....	i
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
<b>INTRODUCCIÓN..... 1</b>	
<b>Objetivos..... 2</b>	<b>2</b>
<b>CAPITULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA..... 3</b>	<b>3</b>
1.1.    Cacao.....	3
1.2.    Taxonomía.....	3
1.3.    Descripción botánica.....	3
1.4.    Variedades de cacao.....	5
1.4.1.    Cacao CCN 51.....	5
1.4.1.1.    Características morfológicas de la mazorca.....	5
1.4.1.2.    Composición fisicoquímica.....	7
1.4.2.    Cacao ICS 39.....	7
1.4.2.1.    Características morfológicas de la mazorca.....	7
1.4.3.    Cacao ICS 95.....	8
1.4.3.1.    Características morfológicas de la mazorca.....	8
1.5.    Producción del cacao.....	10
1.5.1.    Producción mundial.....	10
1.5.2.    Producción nacional.....	10
1.5.3.    Producción regional.....	11
1.6.    Beneficios del cacao.....	11
1.6.1.    Cosecha.....	11
1.6.2.    Quiebre.....	12

1.6.3	Fermentación.....	12
1.6.4.	Secado.....	13
1.6.5.	Almacenamiento.....	13
1.7.	Calidad de los granos de cacao.....	13
1.7.1.	Propiedades físicas del grano.....	13
1.7.2.	Propiedades químicas del grano.....	15
1.8.	Reología.....	17
1.8.1.	Reología en los alimentos.....	17
1.8.1.1.	Fluidos.....	17
1.8.1.2.	Parámetros reológicos.....	19
1.8.1.3.	Modelos reológicos.....	20
1.8.1.4.	Fluidos independientes del tiempo de aplicación del esfuerzo de corte...	22
1.8.1.5.	Fluidos dependientes del tiempo de aplicación del esfuerzo de corte....	24
1.8.1.6.	Equipos para medir las propiedades reológicas.....	26
1.8.1.7.	Aplicación de los modelos reológicos en la industria alimentaria.....	28
<b>II.</b>	<b>CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>30</b>
2.1.	Lugar de ejecución.....	30
2.2.	Materiales.....	30
2.2.1.	Materia prima.....	30
2.2.2.	Instrumentos y Equipos de laboratorio.....	30
2.2.3.	Materiales de laboratorio.....	31
2.2.4.	Reactivos y solventes.....	31
2.3.	Metodología.....	31
2.3.1.	Metodología experimental.....	31
2.3.1.1.	Propiedades físicas del grano seco del cacao.....	34
2.3.1.2.	Propiedades químicas del grano seco del cacao.....	35
2.3.1.3.	Diseño experimental.....	36
<b>III.</b>	<b>CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>39</b>
3.1.	Características principales de la mazorca de cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L.).....	39
3.2.	Caracterización física del grano fermentado seco de cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L.).....	39
3.3.	Características químicas de 03 clones de licor de cacao ( <i>Theobroma</i>	

	<i>cacao</i> L.), en 02 localidades.....	41
3.4.	Caracterización reológica del licor de 03 clones de cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L).....	42
3.4.1.	Efecto del tipo del clon y de la temperatura en las propiedades reológicas.....	42
3.4.2.	Efecto de la temperatura y del tipo del clon en la Viscosidad (cP).....	46
3.4.3.	Cálculo de los parámetros reológicos utilizando modelos matemáticos..	50
3.4.4.	Efecto combinación de la temperatura y clones frente al índice de flujo ( $\eta$ ), Índice de consistencia (k) y esfuerzo umbral ( $\gamma$ ).....	57
3.4.5.	Regresión polinomial del contenido de grasa (%) Vs la concentración de calcio (meq/100g).....	60
	<b>Conclusiones.....</b>	<b>62</b>
	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>63</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>64</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>69</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Producción regional del grano de Cacao 2012.....	11
<b>Tabla 2.</b>	Peso del grano de cacao.....	14
<b>Tabla 3.</b>	Tamaño del grano de cacao.....	14
<b>Tabla 4.</b>	Resultados del análisis químico del grano de cacao seco.....	15
<b>Tabla 5.</b>	Parámetros de Calidad FEDECACAO.....	16
<b>Tabla 6.</b>	Parametros de calidad del cacao según norma ICONTEC NTC 793...	16
<b>Tabla 7.</b>	Composición química de almendras de cacao fermentadas y secas.....	16
<b>Tabla 8.</b>	Composición química del grano seco de cacao.....	17
<b>Tabla 9.</b>	Diseño experimental para análisis físico y químico.....	37
<b>Tabla 10.</b>	Diseño experimental para esfuerzo umbral(y), índice de consistencia(k), índice de flujo(n).....	38
<b>Tabla 11.</b>	Principales características de la mazorca de 03 clones de cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L.).....	39
<b>Tabla 12.</b>	Características físicas del grano fermentado seco de 03 clones de cacao ( <i>Theobromacacao</i> L.), en 02 localidades.....	40
<b>Tabla 13.</b>	Composición centesimal del grano fermentado seco de 03 clones de cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L.), en 02 localidades.....	41
<b>Tabla 14.</b>	Parámetros reológicos ajustados al modelo de Casson en diferentes localidades, clones de cacao y temperaturas.....	54
<b>Tabla 15.</b>	Parámetros reológicos ajustados al modelo de Herschel-Bulkley en diferentes localidades clones de cacao y temperaturas.....	55
<b>Tabla 16.</b>	Parámetros reológicos ajustados al modelo de Ostwald de Waele (Ley de la potencia) en diferentes localidades clones de cacao y temperaturas.....	56



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Tipo de Viscosidad.....	19
<b>Figura 2.</b>	Reograma de fluidos no newtonianos independientes del tiempo.....	24
<b>Figura 3.</b>	Viscosidad aparente en fluidos independientes del tiempo.....	24
<b>Figura 4.</b>	Comportamiento de los fluidos dependientes e independientes del tiempo.....	25
<b>Figura 5.</b>	Reogramas de los fluidos dependientes del tiempo.....	26
<b>Figura 6.</b>	Reómetro Brookfield DV – III Ultra.....	27
<b>Figura 7.</b>	Diagrama de Flujo para la obtención del licor de cacao.....	32
<b>Figura 8.</b>	Diagrama de flujo metodología experimental.....	33
<b>Figura 9.</b>	Reogramas de los clones CCN51, ICS39 e ICS95, a 03 temperaturas (60°C, 70°C y 80°C), en las localidades de Ahuihua y Montevideo.....	43
<b>Figura 10.</b>	Reogramas a tres temperaturas (60°C, 70°C, 80°C), en tres clones CCN51, ICS39 e ICS95, en las localidades de Ahuihua y Montevideo.....	44
<b>Figura 11.</b>	La viscosidad (cP) Vs la velocidad de deformación ( $S^{-1}$ ), en CCN 51 a 03 temperaturas (60°C, 70°C y 80°C), en las localidades de Ahuihua y Montevideo.....	46
<b>Figura 12.</b>	La viscosidad (cP) Vs efecto de la velocidad de deformación ( $S^{-1}$ ) a 60°C en tres clones diferentes en las localidades de Ahuihua y Montevideo.....	48
<b>Figura 13.</b>	Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos a temperaturas de 60°C, 70°C, 80°C, para el clon de cacao ICS 95 en la localidad de Ahuihua.....	50
<b>Figura 18.</b>	Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos a temperaturas de 60°C, 70°C, 80°C, para el clon de cacao ICS 95 en la localidad de Montevideo.....	52
<b>Figura 19.</b>	Superficie de respuesta del índice de flujo del licor de tres clones de cacao (CCN 51, ICS 39 y ICS 95), 03 temperaturas de proceso (60°C, 70°C, 80°C).....	57

<b>Figura 20.</b>	Superficie de respuesta del índice de consistencia (k) del licor de tres clones de cacao (CCN 51, ICS 39 y ICS 95), a 03 temperaturas de proceso (60°C, 70°C y 80°C).....	58
<b>Figura 21</b>	Superficie de respuesta del esfuerzo Umbral (y) del licor de tres clones de cacao (CCN 51, ICS 39 y ICS 95), a 03 temperaturas de proceso (60°C, 70°C y 80°C).....	59
<b>Figura 22</b>	Regresión polinomial del contenido de grasa (%) Vs la concentración de calcio (meq/100g) presente en los suelos en los clones CCN 51(a), ICS 39(b) y ICS95(c).....	60

## INDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1.</b>	Datos experimentales obtenidos para el cálculo de Esfuerzo umbral (y), índice de consistencia (k) e índice de flujo ( $\eta$ ).....	69
<b>ANEXO 2.</b>	ANVA y efectos estimados de datos experimentales del esfuerzo umbral (y), índice de consistencia (k) e índice de flujo ( $\eta$ ).....	70
<b>ANEXO 3.</b>	ANVA, datos experimentales de los análisis físicos de 03 clones de Cacao.....	72
<b>ANEXO 4.</b>	ANVA, datos experimentales de los análisis químico de 03 clones de cacao.....	74
<b>ANEXO 5.</b>	Datos tabulados de modelos reológicos – Sector Ahuihua.....	76
<b>ANEXO 6.</b>	Datos tabulados de modelos reológicos – Sector Montevideo.....	77
<b>ANEXO 7.</b>	Identificación insitu de plantas por clones de cacao, CCN51(a), ICS95 (b), ICS 39 (c).....	78
<b>ANEXO 8.</b>	Cosechado y fermentado del cacao por clones CCN 51, ICS 95 y ICS 39.....	79
<b>ANEXO 9.</b>	Granos fermentados de cacao por clon.....	80
<b>ANEXO 10.</b>	Secado y almacenamiento de los clones de cacao en las localidades de Ahuihua y Montevideo.....	81
<b>ANEXO 11.</b>	Operaciones unitarias para la obtención de licor de cacao.....	82
<b>ANEXO 12.</b>	Gráficos de los ajustes matemáticos en los 3 clones a tres temperaturas en las dos localidades.....	83

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación, “Estudio de las propiedades físico químicas del grano seco y reológicas del licor de cacao (*Theobroma cacao L.*), en tres clones CCN 51, ICS 95 y ICS 39, se desarrolló en la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, en la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Laboratorio de Investigación. Los objetivos fueron determinar las propiedades físicas y químicas del grano seco de 3 clones de cacao (CCN 51, ICS 39, ICS 95) y las propiedades reológicas del licor a tres temperaturas (60°C, 70°C, 80°C). Las muestras fueron suministradas por productores organizados de ACOPAGRO pertenecientes a las zonas de Ahuihua y Montevideo de la provincia de Huallaga. Para el análisis físico y químico se realizó un Diseño de bloques completo al azar, teniendo como bloques las localidades (Ahuihua, Montevideo) y los clones (CCN 51, ICS 95, ICS 39), los ensayos fueron por triplicado con un nivel de significancia de ( $\alpha= 0.05$ ). En el análisis físico se conoció las características principales de la mazorca, y el análisis biométrico para conocer el peso, largo, ancho y espesor de los granos. El clon sobresaliente dentro de las características biométricas es el ICS 39, porque presenta mayor peso y tamaño dentro las dos localidades (Ahuihua, Montevideo). Para el análisis químico se conoció la composición del grano de cacao, oscilando cambios entre las muestras, estas diferencias se pueden asumir por la influencia del clon a estudio. Para el estudio reológico se realizó un diseño experimental Completo al Azar con arreglo factorial (3x3) siendo los factores (tipo de clon y temperatura de ensayo), 3 niveles para el factor tipo de clon (CCN 51, ICS 95, ICS 39) y 3 niveles para el factor temperatura (60°C, 70°C, 80°C). La caracterización reológicas se realizó mediante un reómetro rotacional marca BROOKFIELD modelo RVDV-III ultra, utilizando el spindle SC – 18. Los valores experimentales se ajustaron a tres modelos matemáticos (Ostwald de Waele, Herschel-Bulkley, y Casson), los cuales fueron modelados usando el software Rheocalc y estadísticos como Origin Pro 9.1, Statistica V10 y SAS System V12. El modelo que mayor se ajusta a los datos experimentales fue Herschel – Bulkley, con un  $R^2 = 0.999$ , indicando que es un fluido pseudoplástico, con índices de flujo ( $n$ ) que disminuye a medida que la temperatura aumenta ( $0.73\pm0.03$ ,  $0.69\pm0.15$  y  $0.67\pm0.25$ )

Palabras claves: grano seco, reológicas, licor de cacao, clones.



## ABSTRACT

The present research , "Study of the physical and chemical properties of the dried cocoa beans and the rheological of the cocoa liquor in three clones CCN 51, ICS 95 and ICS 39 (*Theobroma cacao L.*), it was developed in the National University of San Martín - Tarapoto, Faculty of Agro-industrial Engineering, Research Laboratory. The objectives were to determine the physical and chemical properties of the dried cocoa beans of three clones (CCN 51, ICS 39, ICS 95) and the rheological properties of the cocoa liquor at three temperatures (60°C, 70°C, 80°C). The samples were provided by organized producers of ACOPAGRO, who belong to the Ahuihua and Montevideo areas of the province of Huallaga. For the physical and chemical analysis a randomized complete block design was carried out, having as blocks the localities (Ahuihua, Montevideo) and the clones (CCN 51, ICS 95, ICS 39), the tests were in triplicate with a level of significance of ( $\alpha = 0.05$ ). In the physical analysis the main characteristics of the cocoa pot were known, and the biometrical analysis to know the weight, the length, the width and the thickness of the cocoa beans. The outstanding clone within the biometric characteristics is the ICS 39, because it has a greater weight and a bigger size within the localities (Ahuihua, Montevideo). For the chemical analysis, the composition of the cocoa bean was known, oscillating between the samples, these differences can be assumed by the influence of the clone in study. For the rheological study a complete randomized experimental design was carried out with a factorial arrangement (3x3), with the factors (clone type and test temperature), 3 levels for the clone type factor (CCN 51, ICS 95, ICS 39) and 3 levels for the temperature factor (60°C, 70°C, 80°C). The rheological characterization was performed using a BROOKFIELD rotational rheometer, model ultra RVDV-III, using the spindle SC-18. The experimental values were adjusted to three mathematical models (Ostwald de Waele, Herschel-Bulkley, and Casson), which were modeled using Rheocalc software and statistics such as Origin Pro 9.1, Statistica V10 and SAS System V12. The model that best fits the experimental data was Herschel - Bulkley, with an  $R^2 = 0.999$ , indicating that it is a pseudoplastic fluid, with flow rates (n) that decreases as the temperature increases ( $0.73 \pm 0.03$ ,  $0.69 \pm 0.15$  and  $0.67 \pm 0.25$ ).

Key words: dried cocoa beans, rheological, cocoa liquor, clones.



## INTRODUCCIÓN

El cacao peruano es considerado en el mercado internacional como un cacao fino de aroma esto es gracias al mejoramiento genético que se realiza en los centros de investigación, se dispone actualmente de muchas variedades de cacao, que se destacan por su precocidad, productividad, resistencia a las principales enfermedades y mejor calidad de sus granos.

El cacao es un producto con grandes ventajas derivadas, con la necesidad de suplir la demanda interna y de incrementar las exportaciones de productos de chocolatería; no obstante, la productividad de clones finos de aroma y de clones tolerantes a las enfermedades y buena calidad de almendra, entre otras características.

La calidad del cacao es uno de los aspectos de mayor importancia en el proceso productivo cacaotero, el nivel que se logre conseguir de la misma, determinará la mayor o menor demanda que tenga en el mercado el producto final del proceso agrícola (**ARMIJOS, 2002**). La calidad del cacao depende de las exigencias de cada mercado y del fin a que se lo destine (**GRAZIANI, 2003**).

El manejo de post cosecha o beneficio del cacao son de importancia porque constituyen parte fundamental y decisiva para obtener una buena calidad del grano y permitir su correcta comercialización, el control de calidad de los granos depende de propiedades importantes como física principalmente de la parte exterior del grano, químicas para conocer la composición del grano como cantidad de grasa, carbohidratos, proteínas, etc, a estas propiedades se suma las propiedades reológicas en el licor de cacao, para así el diseño y construcción de equipos de bombeo entre otros.

El control de calidad en nuestro país está determinado mediante la evaluación de sus propiedades físicas, químicas y organolépticas, está reglamentado por la Norma Técnica Peruana y aprobada por el Comité Técnico de Normalización de Cacao y Chocolate (**BAÑOS, 2010**).

Las propiedades físicas de un grano están comprendidas por el tamaño y peso de la almendra, porcentaje de fermentación, contenido de humedad y defectos, principalmente

esta propiedad se basa en la evaluación externa del grano sin importar que no coincida, necesariamente, con un buen sabor y aroma a chocolate.

El trabajo de investigación tendrá como finalidad el estudio de las propiedades físicas y químicas de los granos secos de cacao que se obtienen después de la cosecha, fermentación y secado y reológicas del licor de cacao obtenidas después del tostado y conchado de tres clones diferentes CCN 51, IC 95 y ICS 39, para conocer si existe diferencia entre estas propiedades y de que depende estas diferencias si es por el tipo de suelo o por los mismos clones.

Los objetivos del presente trabajo fueron los siguientes:

**Objetivo General:**

- Determinar las propiedades más importantes para el procesamiento de 3 clones de cacao (CCN 51, ICS 39, ICS 95).

**Objetivo Específico:**

- Determinar las propiedades físicas y químicas del grano seco de 3 clones de cacao (CCN 51, ICS 39, ICS 95).
- Determinar las propiedades reológicas del licor de 3 clones de cacao (CCN 51, ICS 39, ICS 95) a tres temperaturas (60° C, 70°C, 80°C).
- Determinar el comportamiento reológico del licor de cacao mediante el ajuste de reogramas, a los modelos de Casson, Herschel-Bulkley y Ostwald de Waele.

# CAPITULO I

## REVISION BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. Cacao

Según **BARTLEY (2005)**, el cacao es originario de América del Sur, específicamente de las cuencas hidrográficas del alto Amazonas y Orinoco, al este de la cordillera de los Andes, en territorios que hoy corresponden a Colombia, Ecuador, Perú, Brasil, Venezuela y las Guayanas. Actualmente se extiende desde Brasil a México en zonas tropicales y también se siembra en el oeste de África.

### 1.2. Taxonomía

Según **Universal Taxonomic Services (2008)**, la planta de cacao se ubica dentro de la siguiente clasificación taxonómica:

Dominio	:	Eukaryota
Reino	:	Plantae
Sub reino	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Orden	:	Malvales
Familia	:	Sterculiaceae
Género	:	<i>Theobroma</i>
Especie	:	<i>Theobroma cacao</i>

### 1.3. Descripción botánica

Según **ANECACAO (2009)**, el cacao es una especie diploide ( $2n = 20$  cromosomas), de porte alto (8 - 20 m de 15 altura) y de ciclo vegetativo perenne. Crece y se desarrolla usualmente bajo sombra en los bosques tropicales húmedos de América Sur y se divide en las siguientes partes:

#### **Raíces**

La raíz principal es pivotante y puede alcanzar de 1.5 - 2.0 m. de profundidad Las raíces laterales en su mayoría se encuentran en los primeros 30 cm del suelo alrededor del árbol, pudiendo alcanzar los 5 – 6 m de longitud horizontal.

#### **Tallo**



El tallo, en su primera fase de crecimiento, es ortotrópico (vertical) que perdura por 12-15 meses. Luego, este crecimiento se interrumpe para dar lugar a la formación de 4 - 5 ramitas secundarias (“horqueta”), que son de crecimiento plagiotrópico (horizontal).

### **Hojas**

Las hojas son enteras, de 15 – 50 cm de longitud y de 5 – 20 cm de ancho, con ápice acuminado o romo; simétricas en el brote ortotrópico y/o asimétricas en las ramas plagiotrópicas. La forma del limbo pueden ser: elíptica, ovada o abovada, con peciolo que presentan dos engrosamientos, denominados “pulvínulos”, uno en la inserción con el tallo, y otro en la inserción con el limbo foliar. En las ramas plagiotrópicas, los dos pulvínulos están casi unidos.

### **Flores**

Las flores, son hermafroditas, pentámeras (5 sépalos, 5 pétalos, 5 estaminodios, 5 estambres, y 5 lóculos por ovario), completas (todos sus verticilios florales) y perfectas (con androceo y gineceo). Estas aparecen en el tronco en forma solitaria o en grupos (“cojines florales”). Su diámetro oscila entre 1 – 1.5 cm. Los sépalos son de prefloración valvar con o sin pigmentación antociánica. Los pétalos son de prefloración imbricada y presentan dos partes distintas, una basal cóncava y otra apical con el extremo inferior unguiculado, y el superior amplio y con el ápice redondeado. Los 5 estambres están bifurcados en el ápice y cada bifurcación posee una antera biteca.

### **Frutos**

Los frutos son bayas, con tamaños que oscilan de 10 – 42 cm, de forma variable (oblonga, elíptica, ovada, abovada, esférica y oblata); de superficie lisa o rugosa, y de color rojo o verde al estado inmaduro, que depende de los genotipos. El ápice puede ser agudo, obtuso, atenuado, redondeado, apezonado o dentado; la cáscara gruesa, delgada o intermedia; de surcos superficiales, intermedios o profundos. El epicarpio y el endocarpio son carnosos estando separados por un mesocarpio fino y leñoso.

**Semillas.**- Las semillas, o almendras son de tamaño variables (1.2 – 3 cm), cubiertas con un mucílago o pulpa de color blanco cremoso, de distintos sabores y aromas (floral, frutal) y grados de acidez, dulzura y astringencia. Al interior de la almendra están los cotiledones, que pueden ser de color morado, violeta, rosado o blanco, según el genotipo.

#### 1.4. Variedades de cacao

En muchos países se han distribuido numerosos clones seleccionados por su productividad, resistencia y/o tolerancia a las enfermedades o bien por su calidad organoléptica (CORPOICA, 2001).

A continuación se presenta una breve información morfo-agronómica e industrial que puede ser de ayuda para identificar o verificar la identidad genética de los clones internacionales que serán estudiados en el presente trabajo de investigación ampliamente distribuida, que son el CCN 51, ICS 39, ICS 95.

##### 1.4.1. Cacao CCN 51:

Según CRESPO Y CRESPO (1997), CCN 51 significa Colección Castro Naranjal, porque es una colección de clones, su autor se apellida Castro y fue creada en la población de Naranjal. El número 51 es la secuencia de los clones que investigó hasta llegar al 51 que es la variedad que obtuvo éxito y brindó las características requeridas. Es una variedad ecuatoriana que crece en la zona tropical del país, es conocida como clon de alta calidad, y de excelente productividad y tolerancia a enfermedades como la escoba de bruja y mal del machete (*Ceratoystis fimbriata*) El clon CCN 51 cultivado ampliamente en Ecuador, es considerado cacao ordinario, común o corriente.

##### 1.4.1.1. Características morfológicas de la mazorca

Según García (2010), el cacao clon CCN51 presenta las siguientes características morfo agronómicas:

###### a. Descriptores de identidad:

- Nombre varietal: CCN – 51
- Grupo genético/genealogía: (IMC-67 x ICS-95) x Forastero desconocido
- País de origen: Ecuador
- Accesoión/código: BGC – 015

###### b. Descriptores morfológicos:

Del fruto:

- Color al estado inmaduro: rojo
- Forma básica: oblongo
- Forma del ápice: ligeramente atenuado
- Rugosidad: fuerte
- Constricción basal: ligera
- Grosor de cáscara: intermedia
- Separación de un par de lomos: intermedio
- Profundidad de surcos: profundo.

De la semilla:

- Forma en sección longitudinal: elíptica
- Forma en sección transversal: intermedia
- Color de cotiledones: morado

#### **c. Descriptores agronómicos:**

De productividad:

- Tamaño del fruto: muy grande
- N° de semillas por fruto: 44
- Tamaño de semilla: intermedia
- Peso seco de semilla: 1.4 g
- Índice de mazorca: 16
- Rendimiento: 2,760 kg/há (937 - 2,812 kg/há)
- Compatibilidad: auto compatible

#### **d. Descriptores industriales:**

- Contenido de grasa: 54%
- Sabores básicos y específicos de pulpa: dulzura (media), acidez (media), astringencia (media); amargor de almendra (medio); floral (muy bajo) y frutal (bajo)
- Sabores básicos y específicos del licor: acidez (media), astringencia (media); amargor (medio); floral (ausente); frutal (bajo), y nuez (ausente).
- Tiene una nota de corteza pronunciada y notable intensidad de chocolate.

#### **1.4.1.2. Composición fisicoquímica**

Según la **Asociación Naturanland (2000)**, las semillas frescas del cacao se encuentran en una pulpa blanca de sabor dulce aromático que representa (15 a 20% del peso fresco), la pulpa consiste en un 80% de agua, (10 a 15% de glucosa y fructosa), así como de 0,5% de ácidos no volátiles principalmente ácido cítrico, y de pectina; tiene un pH de 3,5 y las semillas tienen un fuerte sabor amargo que se debe a la antocianina, una sustancia de color violeta oscuro.

#### **1.4.2. Cacao ICS 39**

Según **García (2009)**, el ICS significa Selección del Colegio Imperial, su país de origen es Trinidad y Tobago del grupo genético o genealogía trinitario con código de accesión (BGC- 026).

##### **1.4.2.1. Características morfológicas de la mazorca**

Según **García, (2010)**, el cacao clon ICS- 39 presenta las siguientes características morfo agronómica.

##### **a. Descriptores de identidad:**

- Nombre varietal: ICS-39
- Grupo genético/genealogía: Trinitario
- País de origen: Trinidad y Tobago
- Accesión/código: BGC-026

##### **b. Descriptores morfológicos:**

Del fruto:

- Color del pedúnculo: rojo
- Antocianina en la lígula del pétalo: Oblongo
- Antocianina en el filamento estaminal: ausente
- Antocianina en los estaminodios: presente
- Antocianina en la parte superior del ovario: presente
- N° óvulos por ovario: 42

De la semilla:

- Forma en sección longitudinal: oblongo: irregular

- Forma en sección transversal: intermedia
- Color de cotiledones: violeta.

**c. Descriptores agronómicas:**

De productividad:

- Tamaño del fruto: muy grande
- N° de semillas por fruto: 35
- Tamaño de semilla: grande
- Peso seco de semilla: 2.2 g
- Índice de mazorca: 13
- Rendimiento: 725 kg/há (1,154 - 3,461 kg/há)
- Compatibilidad: autoincompatible.

**d. Descriptores Industriales:**

- Contenido de grasa: 51%
- Sabores básicos y específicos de pulpa: dulzura (baja), acidez (fuerte), astringencia (media), amargor de almendra (medio), flora (bajo) y frutal (bajo).

**1.4.3. Cacao ICS 95:**

**1.4.3.1. Características morfológicas de la mazorca:**

Según **García (2009)**, el ICS significa Selección del Colegio Imperial, y presenta las siguientes características morfo agronómicas:

**a. Descriptores de identidad:**

- Nombre varietal: **ICS – 95**
- Grupo genético/genealogía: **Trinitario**
- País de origen: **Trinidad y Tobago**
- Acceso/código: **BGC – 008.**

**b. Descriptores morfológicas:**

Del fruto:

- Color al estado inmaduro: rojo
- Forma básica: oblongo
- Forma del ápice: agudo
- Rugosidad: intermedia
- Constricción basal: ligera
- Grosor de cáscara: delgada
- Separación de un par de lomos: intermedia
- Profundidad de surcos: intermedia.

De la semilla:

- Forma en sección longitudinal: elíptica
- Forma en sección transversal: intermedia
- Color de cotiledones: morado.

#### **c. Descriptores agronómicas:**

De productividad:

- Tamaño del fruto: grande
- N° de semillas por fruto: 35
- Tamaño de semilla: intermedia
- Peso seco de semilla: 1.3 g
- Índice de mazorca: 22
- Rendimiento: 1,867 kg/há (682 - 2,045 kg/há)
- Compatibilidad: autocompatible

#### **d. Descriptores Industriales:**

- Contenido de grasa: 56%
- Sabores básicos y específicos de pulpa: dulzura(baja), acidez(baja), astringencia (baja); amargor de almendra (baja); floral (bajo) y frutal (medio)
- Sabores básicos y específicos del licor: Tiene una nota intermedia de corteza y nuez. También tiene ligeras notas de fruta tropical. La intensidad del chocolate tiende a ser moderado.

## **1.5. Producción del cacao:**

### **1.5.1. Producción mundial:**

Los países con mayor producción a nivel mundial son Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Nigeria, Camerún, Brasil y Ecuador, contribuyendo entre todos en más del 90% de la producción mundial de cacao (**Afoakwa, 2010**).

Según **Donovan (2006)**, los principales países productores de cacao son los del este de África: Costa de Marfil, Ghana, Nigeria y Camerún. Estos países aportan cerca de las dos terceras partes de la producción mundial y tres cuartos de las exportaciones mundiales de granos de cacao. Para países como Costa de Marfil y Ghana, las exportaciones de cacao representan 30% y 25% de los ingresos totales de exportación, respectivamente.

Entre los países con significativas producciones de granos de cacao se encuentran Indonesia, Malasia, Brasil, Colombia, Ecuador y República Dominicana

### **1.5.2. Producción nacional:**

Según el **MINAG (2013)**, la producción peruana de cacao ha crecido interrumpidamente desde los años (2007 – 2013), llegando a producirse 71,813 toneladas el año 2013. El crecimiento de la producción de cacao del año 2013 es explicada tanto por el aumento en la superficie cosechada como por el incremento de la productividad por hectárea. Las principales regiones productoras de cacao en el Perú son: San Martín, Cuzco, Ayacucho, Junín, Amazonas, Huánuco y Ucayali. La región San Martín es desde el año 2007 la principal región productora de cacao en el Perú, el año 2013 se produjo en San Martín 32,126 toneladas de cacao y representa el 44,7% de la producción nacional de cacao. Cuzco es la segunda región productora de cacao ya que en el 2013 se ha producido 10,351 toneladas que representa un 12,18%. La producción de la región Ayacucho en el año 2013 fue de 6,188 toneladas un 0,03%, la región Junín fue de 9,835 toneladas y la de Amazonas 4,269 toneladas (**MINAG, 2013**).

### **1.5.3. Producción regional:**

Producción del cacao a nivel de la región San Martín, por sus provincias en campañas del 2011- 2012.

**Tabla 1:***Producción regional del grano de Cacao 2012.*

Provincias	Rendimiento promedio por Hectárea(Kg/ha)	Superficie Cosechada		Producción estimada	
		Hectáreas	%	Toneladas	%
Tocáche	780	14,061.97	30	10,968	37
Mariscal Cáceres	700	9,293.02	20	6,505	22
Huallaga	550	6,325.66	14	3,479	12
San Martín	500	3,947.44	8	1,974	7
Lamas	500	3,834.58	8	1,917	6
El Dorado	500	3,759.68	8	1,88	6
Bellavista	570	3,183.71	7	1,815	6
Picota	500	1,241.95	3	621	2
Moyobamba	500	884.77	2	442	1
Rioja	500	207.34	0	104	0
Total San Martín	5600	46,740.12	100	29,705	100

Fuente: CENAGRO 2012.

**1.6. Beneficios del cacao**

Según **Enriquez (2004)**, el beneficio del cacao como materia prima para la industrialización del producto, incluye una serie ordenada de operaciones que se inician con la cosecha de la mazorca maduras, extracción de las almendras, fermentación y termina con el secado. El objetivo del beneficio es conseguir convertir a la materia prima en un producto comercial de mejor calidad, de fácil transporte y almacenamiento.

**1.6.1. Cosecha**

Según **Acebey y Rodriguez (2002)**, el estado ideal para cosechar las mazorca es cuando están maduras. Sin embargo, en el momento de la recolección, no todas se encuentran en ese estado, y se recolectan también las mazorca que recién comienza su maduración (pintones).

La cosecha frecuente evita la sobre maduración de las mazorca y germinación de las almendras en su interior. La presencia de almendras germinadas, es un grave defecto porque los hongos invaden estas almendras, influyendo negativamente sobre el sabor del chocolate y poniendo en riesgo su inocuidad (**Díaz, 2012**).

**1.6.2. Quiebra**



Antes de empezar a partir las mazorcas, debe separarse las sanas de las afectadas por enfermedades o plagas para beneficiar solamente granos provenientes de frutos sanos y no dañar la calidad final del producto.

La quiebra es la segunda etapa del beneficio de cacao que consiste en partir los frutos y extraer los granos; debe realizarse antes de los 5 días después de la cosecha (**Arévalo, 2004**). La quiebra de las mazorcas se debe realizar con un machete sin filo y tener cuidado de no causar daño a las almendras (**Aceby y Rodríguez, 2002**).

### **1.6.3. Fermentación**

Según **Enríquez (2004)**, la fermentación es el proceso mediante el cual se limpia la semilla, se mata el embrión y se da una excelente presentación a las almendras, dando paso a las transformaciones para obtener una buena calidad.

Los granos se fermentan para ayudar a la eliminación de la pulpa adherida a ellos y prepararlos para el secado. Sin embargo, los cambios químicos y biológicos que se llevan a cabo durante la fermentación son esenciales para el desarrollo adecuado del sabor a chocolate en la etapa del tostado (**Desrosier, 2007**).

Según **APPCACAO (2013)**, la fermentación consiste en:

- Descomposición y remoción del mucílago azucarado que cubre el grano fresco, para facilitar el secado y la conservación o almacenamiento.
- Elevar la temperatura que mata al embrión, para facilitar el desarrollo del sabor a chocolate.
- Destrucción de las células pigmentadas o cambios en la pigmentación Interna.
- La transformación del sabor astringente de los cotiledones.
- El desarrollo de sabor y aroma del chocolate.
- Durante la fermentación los azúcares que contienen las almendras son transformados a alcoholes por las levaduras, estos a su vez son convertidos en ácido acético por las bacterias acéticas.

### **1.6.4. Secado**

Según **Whitney (2001)**, el secado tiene como finalidad eliminar el exceso de humedad de los granos de cacao, al término del proceso de fermentación las almendras tienen alrededor de 50 a 56% de humedad, el que deberá reducirse a un rango de 7% - 8%, límite considerado como crítico para el almacenamiento y así evitar el desarrollo de hongos (mohos). Cuando la humedad baja más de un 6% las almendras se vuelven

quebradizas, pero si no se seca al punto indicado son más susceptibles al ataque de hongos, que puede producir micotoxinas patógenas (ocratoxina) que representa un riesgo para la salud humana.

#### **1.6.5. Almacenamiento**

Según **APPCACAO (2013)**, el almacenamiento del cacao juega un papel preponderante. Si no es realizado en perfectas condiciones todo el esfuerzo realizado en obtener un producto de calidad puede echarse a perder.

Los granos de cacao secos, se guardan en sacos de yute y almacenan en ambientes techados de blanco o de colores claros y secos, bien ventilados acomodados y apilados sobre parihuelas de madera alejada de productos que emanen olores fuertes (servicios higiénicos, pesticidas, combustibles, detergentes, humo) (**ICT, 2003**).

#### **1.7. Calidad de los granos de cacao**

El término “calidad” es quizás una de las palabras más utilizadas desde hace algunos años. En efecto, la calidad se ha convertido en un tema de actualidad y forma parte en este momento de las preocupaciones de un número cada vez más elevado de personas, sociedades y organismos diversos (**Pons y Sivardiere, 2002**).

La calidad puede considerarse una característica compleja de los alimentos que determina su valor o aceptabilidad para los consumidores (**FAO, 2000**).

##### **1.7.1. Propiedades físicas del grano**

Según **Enríquez (2004)**, la calidad física es la forma como los países compradores y fabricantes clasifican al cacao por su apariencia, humedad, contenido de materiales extraños, mohos, insectos.

Según **Pérez (2006)**, la calidad física está determinado por: el tamaño y peso de la almendra; porcentaje de fermentación; contenido de testa o cascarilla y contenido de humedad y defectos. En cuanto al tamaño y peso, la industria chocolatera y confitería en general, prefiere almendras de más de un gramo de peso y grandes, el contenido de humedad no debe ser superior al 8%, el porcentaje de fermentación, debe estar dentro de los estándares de calidad de grano superior I, con la finalidad de garantizar los atributos de los chocolates finos.

##### **a. Peso del grano:**

Según **Guerrero (2007)**, para determinar el peso del grano es tomar la muestra al azar y hacer el conteo de 100 granos. La muestra de 100 granos es pesada y se expresa en gramos y se determina el peso por grano. Lo ideal es que cada grano sobrepase 1 gramo. En algunos casos se utiliza 300 gramos y se hace el conteo total.

**Tabla 2:**

*Peso del grano de cacao*

Peso de 100 granos (g)	Clasificación ( tamaño)
$\leq 100$	Grano pequeño
100 – 120	Grano mediano
$> 120$	Grano grande

Fuente: FAO (2005).

**b. Tamaño del grano:**

Según **ACOPAGRO (2013)**, el tamaño de los granos de cacao es muy importante para los países compradores de cacao es por eso que los lotes que exporta la Cooperativa Agraria Cacaotera ACOPAGRO, debe regirse a unos rangos establecidos, dichos rangos se muestran en la tabla N° 03.

**Tabla 3:**

*Tamaño del grano de cacao*

Tamaño del grano (cm)	
Pequeño:	$< 1.2$
Mediano:	1.2 a 1.4
Grande:	$> 1.4$

Fuente: Cooperativa Agraria Cacaotera ACOPAGRO (2013).

**c. Porcentaje de fermentación:**

El porcentaje de fermentación se determina en almendras secas, a nivel mundial la evaluación se realiza mediante la "prueba de corte". Se considera que después del corte transversal, los granos completamente fermentados presentan el cotiledón de color castaño y una superficie con agrietamiento pronunciado. Aquéllos granos parcialmente fermentados, presentan agrietamiento moderado en la superficie del cotiledón y el color es crema a casi castaño. Los granos no fermentados, muestran superficies con ausencia, casi total, de agrietamientos y son de color violeta. Así mismo, mediante esta determinación es posible establecer la relación entre las características físicas y organolépticas con el grado

de fermentación de las almendras: color marrón o café, color marrón o violeta, color violeta, color gris negruzco y aspecto pizarroso (**Torres, 2004**),

### 1.7.2. Propiedades químicas del grano

Según **Gutiérrez (2000)**, la calidad del cacao, involucra también las características químicas de las almendras fermentadas y secas.

La composición química de los granos de cacao depende de varios factores entre los que se pueden citar: tipo de cacao, origen geográfico, grado de madurez, calidad de la fermentación y el secado. El beneficio postcosecha también influye sobre su composición química. Los principales constituyentes químicos del cacao son: agua, grasa, compuestos fenólicos, materia nitrogenada (proteínas y purinas), almidón y otros carbohidratos (**WAKAO, 2002**).

**Pérez (2006)** refiere los contenidos, de materia grasa, proteína, polifenoles, índice de saponificación, características de ácidos grasos y otros, que se encuentran dentro de la almendra y que varían de un tipo genético de cacao a otro.

En las tablas 4, 5, 6, 7, 8, se presenta la composición química del grano seco de cacao de diferentes autores:

**Tabla 4.**

*Resultados del análisis químico del grano de cacao seco*

Componentes (%)	T1	T2
Grasa	39.06	48.84
Ceniza	3.22	3.09
Humedad	14. 27	13.7
Acidez Titulable total	1.23	1.58

Fuente: LOAYZA, (2014).

**Tabla 5.**

*Parámetros de Calidad FEDECACAO.*

Componentes (%)	Bajo	Normal	Alto
Humedad	6 a 6,6	7 a 8	> 8
Ceniza		2 a 4	
Grasa	< 52	52 a 55	> 55
Proteína	11	14,9	

Fibra	2	2 a 5	> 6
-------	---	-------	-----

Fuente: MORALES y GÓMEZ, (2010).

**Tabla 6.**

Parámetros de calidad del cacao según norma ICONTEC NTC 793

Requisitos	%
Humedad	máximo 2,5
Grasa	mínimo 48
Fibra	máximo 4,7
Ceniza	máximo 4,0

Fuente: MORALES y GÓMEZ, (2010).

**Tabla 7.**

*Composición química de almendras de cacao fermentadas y secas.*

Componentes	Fermentado y seco (%)
Agua	5
Grasa	54
Cafeína	0,2
Teobromina	1,2
Polihidroxifenoles	6
Proteína bruta	11,5
Mono-oligosacaridos	1
Almidón	6
Pentosanos	1,5
Celulosa	9
Ácidos carboxílicos	1,5
Otras sustancias	0,5
Cenizas	2,6

Fuente: CALDERÓN (2002).

**Tabla 8.**

*Composición química del grano seco de cacao.*

Variables	Grano
Grasa (%)	48,58
Cenizas totales (%)	3,27
Sólidos totales (%)	42,92
Fibra cruda (%)	4,3
Proteína (%)	12,25

Humedad (%)	8,5
Teobromina	0,8-1,4
Fuente: ADRIAZOLA (2003)	

## 1.8. Reología

La reología es el estudio de los principios físicos que regulan el movimiento y la deformación de la materia cuando es sometida a esfuerzos externos, es decir estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en materiales que son capaces de fluir, definiendo como flujo la deformación continua generada por la aplicación de una fuerza tangencial. Las propiedades que dependen de esta relación se denominan parámetros reológicos y la forma como se relacionan se llama modelo reológico. La reología ha desempeñado un papel clave en el desarrollo, fabricación y elaboración de alimentos, permitiendo una caracterización completa del material y la optimización de los procesos con menores costos y mayor eficiencia (**Jiménez, 2006**).

### 1.8.1. Reología en los alimentos:

Los datos reológicos en la industria alimentaria son importantes para determinar la funcionalidad de los ingredientes en el desarrollo de productos, control de calidad de productos final o intermedio, para determinar la vida útil, la evaluación de la textura por correlación con los datos sensoriales, el cálculo de los procesos de ingeniería que abarca una gran cantidad de equipos tales como mezcladoras, extrusoras, bombas, intercambiadores de calor, tuberías u homogeneizadores (**Lannes, 2002**).

#### 1.8.1.1. Fluidos:

Se define al fluido como una sustancia que se deforma continuamente bajo la acción de un esfuerzo de corte, por tanto, en ausencia de éste, no habrá deformación. “Los fluidos pueden clasificarse de manera general de acuerdo con la relación entre el esfuerzo de corte aplicado y la relación de deformación” (**Levenspiel, 2003**).

##### a. Fluidos Newtonianos:

Según **Levenspiel (2003)**, los fluidos en que los esfuerzos de corte, es directamente proporcional a la tasa de deformación son fluidos newtonianos. Los fluidos más comunes

tales como el agua, el aire y la gasolina son newtonianos en condiciones normales. Son líquidos cuyos coeficientes de viscosidad son constantes para una temperatura dada. Es decir, cuando el fluido es sometido a esfuerzos de corte ( $\tau$ ) se desarrollan velocidades de deformación ( $\dot{\gamma}$ ) directamente proporcionales, en otras palabras si el esfuerzo de corte se duplica lo hará también la velocidad de deformación, según la ecuación (1) (**Kyereme et al., 1999**).

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad \dots\dots\dots(1)$$

donde:

$\mu$  =Viscosidad newtoniana (Pa.s).

$\tau$  =Esfuerzo de corte (tensión tangencial o de cizalla) (Pa).

$\dot{\gamma}$  =Velocidad de deformación (corte o cizalladura) ( $s^{-1}$ ).

Los fluidos newtonianos, por definición presentan una línea recta que relaciona el esfuerzo de corte ( $\tau$ ) y la velocidad de deformación ( $\dot{\gamma}$ ), con intercepto cero y pendiente igual a la viscosidad ( $\mu$ ). Los fluidos que no exhiben este comportamiento son llamados No Newtonianos (**Steffe, 1996**).

#### **b. Fluidos no Newtonianos:**

Los fluidos viscosos no newtonianos no presentan proporcionalidad entre la relación de deformación y el esfuerzo de corte, la viscosidad recibe el nombre de viscosidad aparente y es función de la relación de deformación (**Ibarz y Barbosa-Cánovas, 1999**); son fluidos plásticos, que pueden presentar cierta elasticidad por debajo de un determinado umbral de presión de corte. Estos fluidos tienen una estructura compleja, en la cual intervienen, generalmente, dos fases como ocurre en emulsiones y suspensiones (**Cheftel et al., 1983**).

##### **1.8.1.2. Parámetros reológicos**

Según **Jiménez (2006)**, para la definición de los parámetros reológicos se tiene en cuenta el flujo laminar, en el cual se entiende el fluido como varias capas que se deslizan una sobre otra y son los que a continuación se mencionan.

- **Esfuerzo de Corte:** Resistencia del fluido al movimiento deslizante de sus capas cuando se aplica una fuerza en forma tangencial a su superficie laminar. Tiene unidades de fuerza sobre área.
- **Tasa de Corte:** Diferencia entre las velocidades de dos capas dividida por la distancia que las separa. Tiene unidades de velocidad sobre longitud.
- **Viscosidad:** Resistencia que opone un fluido a ser deformado. En términos matemáticos es la relación de proporcionalidad entre el esfuerzo de corte y la tasa de corte.

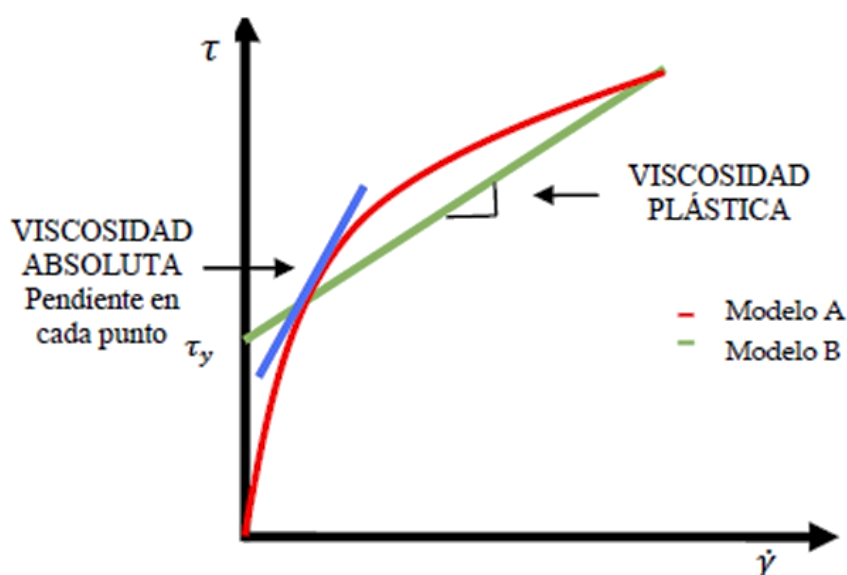


Figura 1.  
Tipo de  
Viscosidad,  
(EGAWA,  
2007).

Cuando un fluido es no newtoniano y no lineal presenta una viscosidad diferente para cada tasa de corte, esta es llamada viscosidad absoluta. La viscosidad plástica es generalmente explicada como la parte de la resistencia al flujo causada por fricción mecánica y es afectada por la concentración de sólidos, el tamaño y la forma de las partículas sólidas y la viscosidad de la fase fluida. Una baja viscosidad plástica puede traer ventajas como menores pérdidas de presión a altas tasas de corte y un mejor levantamiento de corte (Egawa, 2007).

- Punto de Cedencia ( $\tau_y$ ): Esfuerzo cortante mínimo requerido para que se dé la deformación del fluido. Representa el valor del esfuerzo de corte para una



velocidad de deformación igual a cero. Su valor aumenta con el contenido de sólidos y disminuye con aumentos en el contenido de agua o dispersantes. Experimentalmente se muestra que el punto de cedencia para el modelo de Casson es menor que en el del modelo Plástico de Bingham.

- Índice de Comportamiento ( $n$ ): Indica la desviación del comportamiento reológico del fluido con respecto a los fluidos newtonianos, es decir, mientras más se aleje el valor de  $n$  de la unidad más pronunciadas serán las características no newtonianas del fluido.
- Índice de Consistencia ( $k$ ): Caracterización numérica de la consistencia del fluido, es decir, es una medida indirecta de la viscosidad, pero sus unidades dependen de  $n$ . A medida que  $k$  aumenta el fluido se hace más espeso o viscoso.

### 1.8.1.3. Modelos reológicos:

Según **Steffe (1996)**, los modelos reológicos son una relación matemática que nos permite caracterizar la naturaleza reológica de un fluido, estudiando la deformación dada a una tasa de corte específica.

Muchas formas de ecuaciones son posibles, sin embargo, un modelo general que se aplica a todas las situaciones no existe. Hay varias ecuaciones que describen el comportamiento no newtoniano del material entre algunos de los más utilizados son: ley de potencia (Ostwald de Waele), Ley de Casson y Herschel Bulkley.

#### a. Modelo de Ostwald de Waele (Ley de potencia)

Es un modelo de dos parámetros para el cual la viscosidad absoluta disminuye a medida que la tasa de corte aumenta. La relación entre la tasa de corte y el esfuerzo de corte está dada por la ecuación (2):

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \dots\dots\dots(2)$$

Dónde:

$\tau$  = esfuerzo cortante (Pa)

$\dot{\gamma}$  = velocidad de deformación (s<sup>-1</sup>)

$$k = \text{Índice de consistencia} \quad \boxed{\tau^{1/2} = \tau_y + (nD)^{1/2}} \quad (\text{Pa.s})$$

$$n = \text{Índice de (adimensional)} \quad \text{comportamiento de flujo}$$

No existe un término para el punto de cedencia por tanto bajo este modelo los fluidos comienzan a fluir a una tasa de corte cero. Si en la ecuación, el índice de comportamiento reológico  $n$  es  $>1$ , el fluido se considera dilatante, porque la viscosidad del fluido aumenta a medida que aumenta la velocidad de cizallamiento. Si  $n < 1$  se considera que el fluido es pseudoplástico.

### b. Modelo de Herschel–Bulkley

Es el resultado de la combinación de aspectos teóricos y prácticos de los modelos plástico de Bingham y ley de potencia. La ecuación (3), describe el comportamiento de un fluido regido por este modelo:

$$\boxed{\tau = \tau_y + (K\dot{\gamma})^n} \quad \dots\dots\dots(3)$$

dónde:

$\tau_y$  = esfuerzo cortante inicial (Pa)

$K$  = límite de fluencia (Pa.s<sup>n</sup>)

$n$  = Índice de consistencia (Pa.s<sup>n</sup>)

$\dot{\gamma}$  = Índice de comportamiento de flujo (adimensional)

$\gamma$  = gradiente de velocidad

En este modelo los parámetros “ $n$ ” y “ $k$ ” se definen igual que en Ley de Potencia. Como casos especiales se tienen que el modelo se convierte en Plástico de Bingham cuando  $n=1$  y en Ley de Potencia cuando  $\tau_y=0$ .

### c. Modelo de Casson

Este modelo da una buena descripción de las características reológicas de los fluidos de perforación. A altas temperaturas y bajas presiones la aproximación se hace más pobre. Según la ecuación (4), la relación que los caracteriza es:

$$\dots\dots\dots(4)$$

dónde:

$\tau$  = esfuerzo cortante (Pa)

$\tau_y$  = límite de fluencia ( $s^{-1}$ )

$n$  = viscosidad plástica

$D$  = gradiente de velocidad

El chocolate es un ejemplo notable de este tipo de fluido (**Lannes et al., 2002**) utilizaron el modelo de Casson para describir los datos reológicos del producto líquido de chocolate de cacao y siempre se ha usado para este producto dando resultados concordantes.

#### **1.8.1.4. Fluidos independientes del tiempo de aplicación del esfuerzo de corte**

Estos fluidos se pueden clasificar dependiendo de si tienen o no esfuerzo umbral, es decir si necesitan de un mínimo valor para que el fluido se ponga en movimiento.

- a. Fluidos sin esfuerzo umbral:** Tenemos acá, a los fluidos pseudoplásticos y a los fluidos dilatantes.

- Pseudoplásticos**

Estos líquidos son menos espesos cuando se someten a altas velocidades de deformación que cuando se cizallan lentamente. Lo anterior se explica porque existe un rompimiento o pre arreglo de la estructura, resultando una menor resistencia al flujo, la viscosidad aparente depende en ellos de la velocidad de deformación, pero no del tiempo al que están sometidos a la tensión cizallante (esfuerzo de corte). La velocidad de deformación aumenta en proporciones más altas que el esfuerzo de corte, de manera que la viscosidad aparente descende a medida que aumenta la velocidad de deformación (ver Figura N° 02), a cada valor de esfuerzo de corte ( $\tau$ ) le corresponde otro de velocidad de deformación ( $\dot{\gamma}$ ) y a la inversa (**Müller, 1973**).

A este tipo de fluidos pertenecen la mayoría de los fluidos no newtonianos como son: grasas, suspensiones de almidón, la mayonesa, ciertos fluidos biológicos, etc., los mismos

que experimentalmente han demostrado una disminución de la viscosidad aparente ( $\mu_{app}$ ) al aumentar el esfuerzo de corte (**Geankoplis, 1986**).

#### - **Dilatantes**

Fenómeno de espesamiento independiente del tiempo, se da a altas velocidades de corte, es un fenómeno opuesto a la pseudoplasticidad. La gráfica no es lineal, pero los valores que toman tanto el esfuerzo de corte ( $\tau$ ) y velocidad de deformación( $\dot{\gamma}$ ); están unívocamente relacionados (espesamiento de estado estacionario), la viscosidad aparente ( $\mu_{app}$ ) aumenta al aumentar la velocidad de deformación ( $\dot{\gamma}$ ).

Estos fluidos son menos frecuentes que los pseudoplásticos, pero frecuentes en soluciones de: harina de maíz y azúcar, almidón o soluciones que contengan concentraciones elevadas de polvos en agua (**Geankoplis, 1986**).

#### **b. Fluidos con esfuerzo umbral:**

Estos tipos fluidos se conocen también como plásticos o viscoplasticos.

Estos tipos de fluidos se comportan como un sólido hasta que sobrepasan el esfuerzo cortante mínimo (esfuerzo umbral) a partir de dicho valor se comportan como un líquido, en otras palabras estos materiales presentan propiedades elásticas almacenando cierta cantidad de energía, cuando se someten a una cantidad de esfuerzo cortante menor que un determinado valor umbral ( $\gamma$ ), Por el contrario este tipo de material fluye mientras se supera este esfuerzo umbral (**Hoffmann, 1974; citado por Romero, 2008**).

En la Figura 2, se observa los reogramas de los diferentes fluidos no newtonianos independientes del tiempo, apreciándose en ellos las curvas que forman algunos de los modelos matemáticos más usados en la industria alimentaria, en la **Figura 3**, se puede apreciar la relación de deformación (velocidad de corte) con la viscosidad aparente en fluidos independientes del tiempo.

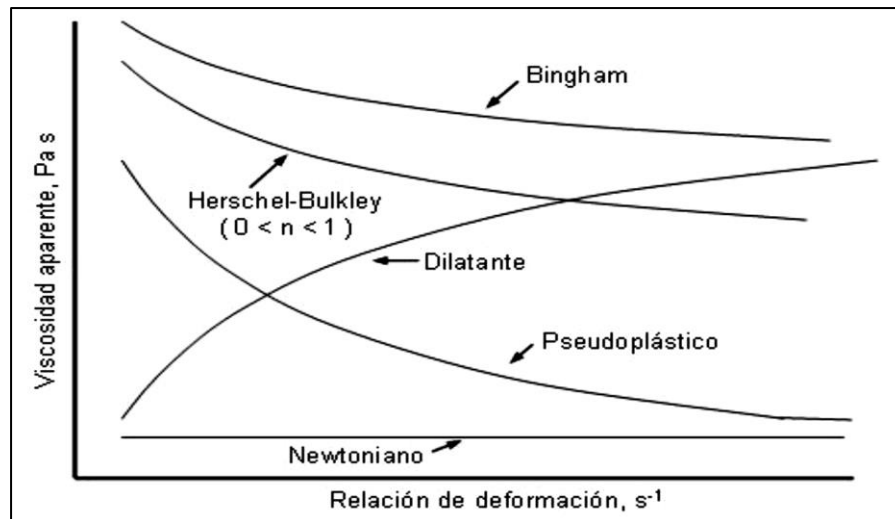


Figura 2. Reograma de fluidos no newtonianos independientes del tiempo (Martínez, 2002).

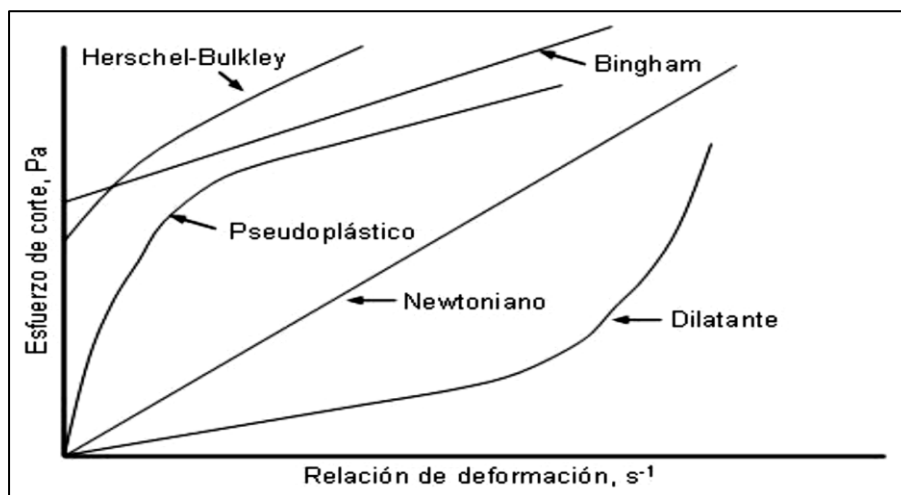


Figura 3. Viscosidad aparente en fluidos independientes del tiempo (Martínez, 2002).

#### 1.8.1.5. Fluidos dependientes del tiempo de aplicación del esfuerzo de corte

En este caso, la viscosidad aparente varía no sólo con el esfuerzo de corte, sino que también, para un esfuerzo de corte constante, varían con el tiempo de duración de la relación de deformación (velocidad de corte). En resumen, en estos tipos de fluidos el comportamiento reológico se define en función de tres variables: el esfuerzo de corte, velocidad de deformación y el tiempo. Se clasifican en: tixotrópicos y reopécticos.

##### a. Fluidos Tixotrópicos

Son aquellos cuya viscosidad y esfuerzo cortante disminuyen con el tiempo manteniendo

una velocidad de deformación constante, por lo tanto, la viscosidad aparente depende no sólo de la relación de deformación, sino también de la duración (tiempo) de la deformación. La estructura de estos fluidos es destruida, debido al esfuerzo de corte aplicado, regenerándose dicha estructura cuando deja de actuar el esfuerzo de corte. Cuando se recupera el valor de la viscosidad inicial se habla de tixotropía reversible, y si no se alcanza de nuevo el valor original de la viscosidad se denomina, tixotropía irreversible (ejemplo: jugo concentrado de naranja) llamada también reomalaxia o reodestrucción. Ejemplos típicos son los alimentos para niños basados en carne, vegetales, pescado, y postre de frutas (Alonso *et al.*, 1995).

### b. Fluidos Reopéticos

En estos fluidos la viscosidad aparente aumenta con el tiempo, cuando la velocidad de deformación permanece constante. Antitixotropía y tixotropía negativa son sinónimos de reopexia (Steffe, 1996). Este comportamiento implica la elaboración o reorganización de estructura, que trae consigo un aumento de la resistencia al flujo ejemplo de este tipo de fluidos; tenemos a la clara del huevo, zumo de tomate, leche condensada, etc. (Ibarz *et al.*, 2005).

En la Figura 4, se puede observar de manera gráfica el comportamiento que existe entre los fluidos dependientes del tiempo y los fluidos independientes del tiempo, resaltando en el mismo la variación del esfuerzo de corte con el tiempo que dura la velocidad de deformación siendo esta constante.

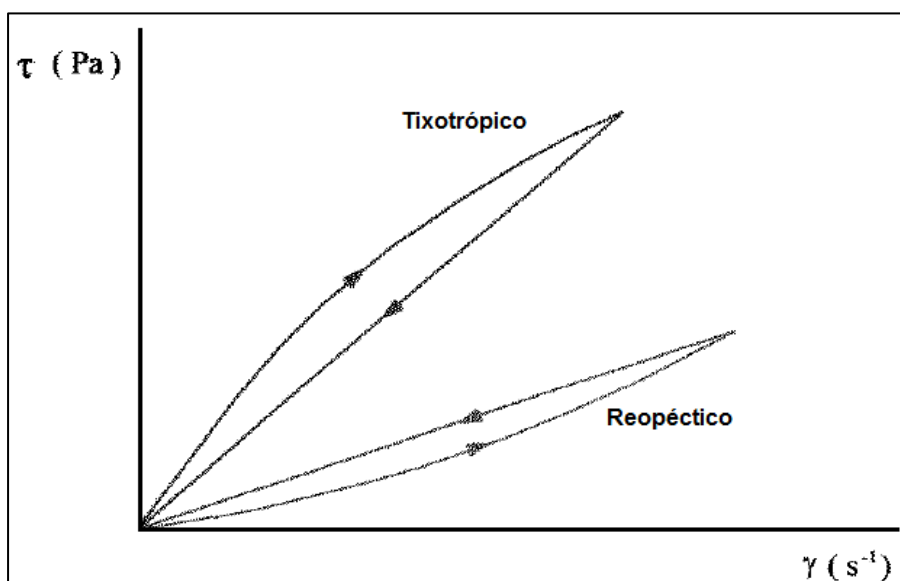


Figura 4. Comportamiento de los fluidos dependientes e independientes del tiempo (Martínez, 2002).

En la Figura 5, se puede observar los reogramas de los fluidos dependientes del tiempo.

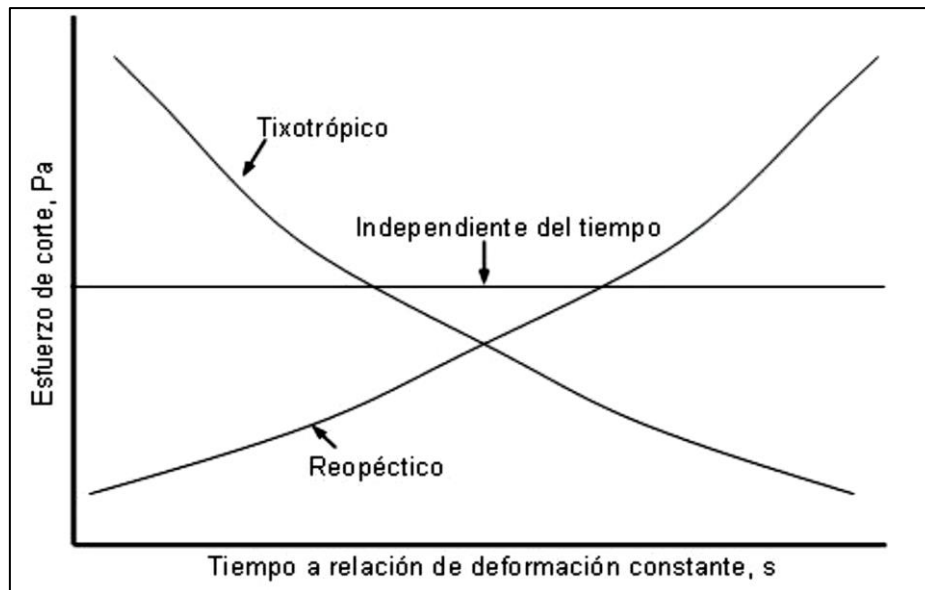


Figura 5. Reogramas de los fluidos dependientes del tiempo (Helena, 1999)

La tixotropía en un fluido se puede determinar de dos maneras diferentes: uno de estas es haciendo una determinación cualitativa mediante el uso de los reogramas de curvas ascendentes y descendentes y determinando en los mismos el respectivo índice de consistencia o viscosidad plástica (si el fluido tiene afinidad por el modelo de Casson u otro que posea esfuerzo umbral).

#### 1.8.1.6. Equipos para medir las propiedades reológicas.

La viscosidad del fluido no es una característica que se puede medir directamente, por lo que la fuerza y la rotación para el fluido está sujeto proporcionando el valor de la viscosidad y se puede medir utilizando un equipo conocido como viscosímetros o reómetros, que puede tener configuraciones diferentes, y los sistemas más comunes son los capilares y el sistema de rotación (Vriesman, 2008).

##### Viscosímetro Rotacional

Según Lannes (2002), es un instrumento constituido principalmente por dos partes: el rotor y el estator. El rotor es el cilindro externo que gira concéntricamente al estator

simulando el movimiento relativo de placas cilíndricas paralelas. El Viscosímetro rotacional proporciona lecturas diales,  $\theta_N$ , para cada velocidad rotacional fijada,  $N$ . Estos son usados para calcular  $\tau_i$  y  $\gamma_i$ , los cuales a su vez son aplicados para hallar los parámetros reológicos.

$$\tau_i = 1.067\theta$$

$$\gamma_i = 1.703N$$

En la Figura 6, se muestra el Viscosímetro Brookfield DV – III Ultra que es uno de los instrumentos de gran alcance y más versátil. Combinando las características sofisticadas de un instrumento de prueba de viscosidad con una capacidad de la medida del esfuerzo de cedencia, le hacen el mejor reómetro del mercado de hoy. Posee un control opcional a través de un software Rheocalc. **(Quevedo 2013).**



*Figura 6:* Reómetro Brookfield DV – III Ultra

La viscosidad se ha utilizado durante muchos años por la industria del chocolate, por ejemplo, para describir la apariencia de la calidad del producto. También se utiliza para dimensionar el tamaño de la tubería y las bombas que son utilizadas para el transporte de chocolate fundido en la planta de fabricación **(LANNES 2002).**



### 1.8.1.7. Aplicación de los modelos reológicos en la industria alimentaria

**Maldonado (2015)** realizó la caracterización reológica de pulpa de uva Isabella (*Vitis labrusca*), utilizó un reómetro rotacional marca BROOKFIELD modelo RVDV-III ultra con el spindle SC – 18, a concentraciones de pulpa de uva Isabella a: 12,5; 15; 20 y 25 °Brix, a temperaturas de 30; 40 y 50 °C. Los valores experimentales fueron ajustados a tres modelos matemáticos (Ostwald de Waele, Herschel-Bulkley, y Casson), los cuales fueron modelados usando el software Microcalc Origin versión 5,0. De acuerdo a los parámetros reológicos obtenidos: índice de consistencia ( $K$ ), índice de flujo ( $n$ ) y esfuerzo umbral ( $\gamma$ ) por los modelos matemáticos en estudio y sus respectivos coeficientes de determinación ( $R^2$ ) superior a 99% para las concentraciones de 12,5 y 15 °Brix, para las concentraciones de 20 y 25 °Brix el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) toma valores superiores a 93%, se concluye que; el modelo de Ostwald de Waele es el que ha descrito adecuadamente el comportamiento reológico de la pulpa de uva Isabella en estudio, los valores del índice de flujo ( $n$ ), está en el rango de 0,19 a 0,38 confirmando de esta manera que la pulpa de uva Isabella tiene un comportamiento pseudoplástico para cada concentración y temperatura.

En la investigación denominada influencia de la molienda en las propiedades reológicas del licor de cacao, **RAMOS (2013)** indicó que existió un comportamiento similar en los reogramas para el licor de cacao variedad criollo y CCN-51, que al incrementar la temperatura de molienda, el esfuerzo de corte disminuyó a valores de 3.05 d/cm<sup>2</sup> y 5.01 d/cm<sup>2</sup> a 40°C, 2.11 d/cm<sup>2</sup> y 3.13 d/cm<sup>2</sup> a 80°C respectivamente, mostrando un comportamiento de fluido no newtoniano y pseudoplásticos. Al comparar estadísticamente los datos experimentales del reograma se tiene que la temperatura y el tiempo de molienda influyen significativamente ( $P < 0.05$ ) en las propiedades reológicas del licor de cacao, tanto en la viscosidad y el esfuerzo de corte finalmente el modelo reológicos elegido fue el Herschel-Bulkley por presentar un mejor ajuste ( $R^2 > 0.9$ ), y porque los parámetros de esta ecuación reflejan las características del fluido.

**Morales y Gómez (2010)** realizaron la caracterización de las propiedades reológicas del licor de cacao de tres clones CCN 51, TSH 812 y SCC 13. Comparó la viscosidad, el esfuerzo de cedencia y encontró que la viscosidad disminuye cuando aumenta la velocidad de deformación lo que indica que el licor de cacao es un fluido pseudoplástico que se comporta según la ley de la potencia y concluye que la viscosidad de los tres clones de

cacao en estudio está en función de la velocidad de flujo y del diámetro del medio de transporte.

En el trabajo de investigación denominado “El impacto de las propiedades reológicas en el cultivo de girasol y de la lecitina de colza en crema de cacao”, **Loncarevic et al. (2015)** determinaron cremas que contenían cantidades variables de lecitina (0,3, 0,5 y 0,7% en peso). También estudiaron el efecto del tiempo de molienda (entre 30, 40 y 50 min). La comparación entre los diferentes orígenes de la lecitina reveló que la lecitina del girasol era más baja en viscosidad que la lecitina de soja o de colza. Las lecitinas de flor de césped y de colza tienen un contenido más alto de fosfatidilcolina que la lecitina de soja. El aumento de la concentración de lecitina disminuyó la velocidad de cristalización y aumentó las temperaturas de pico y de conclusión en la fase de grasa cremosa. El tipo de lecitina utilizado no tuvo influencia significativa sobre la viscosidad de la fase grasa. Se ha encontrado que las propiedades reológicas óptimas de la crema de cacao separable se pueden lograr usando 0,5% en peso de lecitina de soja y colza o 0,7% en peso de lecitina de flor solar y 40 min de tiempo de molienda.

## CAPITULO II

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Lugar de ejecución**

El presente trabajo se realizó en los laboratorios de: Investigación, Análisis de Composición de Productos Agroindustriales, Tecnología de Productos Agroindustriales no Alimentarios, Ingeniería y Diseño de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la UNSM-T, Ciudad Universitaria, Morales, Provincia y Región San Martín.

### **2.2. Materiales**

#### **2.2.1. Materia prima**

Los frutos de cacao de los clones CCN 51, ICS 95 e ICS 39, fueron obtenidos de productores organizados pertenecientes a la Cooperativa Agraria Cacaotera ACOPAGRO, en la Provincia del Huallaga específicamente de los caseríos de Ahuihua y Montevideo.

#### **2.2.2. Instrumentos y Equipos de laboratorio**

- Estufa, Marca FRAVILL, modelo ED080.
- Balanza Analítica de precisión (Marca AND Modelo GH-200)
- Reómetro DVIII Ultra Brookfield Spindle N° 18
- Determinador de proteína marca Selecta Pronitros
- Mufla modelo ED080
- Tostadora F20E
- Trituradora
- Conchadora Spectra 11
- Atemperador Revolution X 3210
- Equipo Soxhlet
- Estufa de Convección Natural (Marca FRAVILL Modelo ED 080)
- Refrigeradora (Marca SAMSUNG Modelo RS21HKLMR1/SAM)
- Baño María con Agitador (Marca MEMMERT)

#### **2.2.3. Materiales de laboratorio**

- Matraces erlenmeyer de 150, 250 mL.
- Vasos de precipitación de 50, 80, 100, 250 y 1000 mL.
- Pipetas graduadas de 10 mL.
- Campanas desecadoras.
- Placas petri
- Fiolas de 10, 50, 100, 500 y 1000 mL.
- Probetas graduadas de 10, 100, 250, 500 y 1000mL.
- Embudo
- Papel filtro libre de ceniza 125 mm
- Papel filtro
- Crisol 30 ml
- Pinzas.
- Espátulas.
- Gradillas.

#### **2.2.4. Reactivos y solventes**

- Éter de Petróleo marca Merck a 60° de ebullición
- Ácido Sulfúrico marca Merck 98% de pureza
- Hidróxido de Sodio (Marca MERCK MILLIPORE CAS 1310-73-2)
- Ácido Clorhídrico (CAS 7467-01-0)
- Alcohol amílico
- Agua destilada

### **2.3. Metodología**

#### **2.3.1. Metodología experimental:**

En la Figura 7, se presenta el flujograma de operaciones que se realizó para obtener los granos secos de los clones CCN 51, ICS 39 e ICS 95.

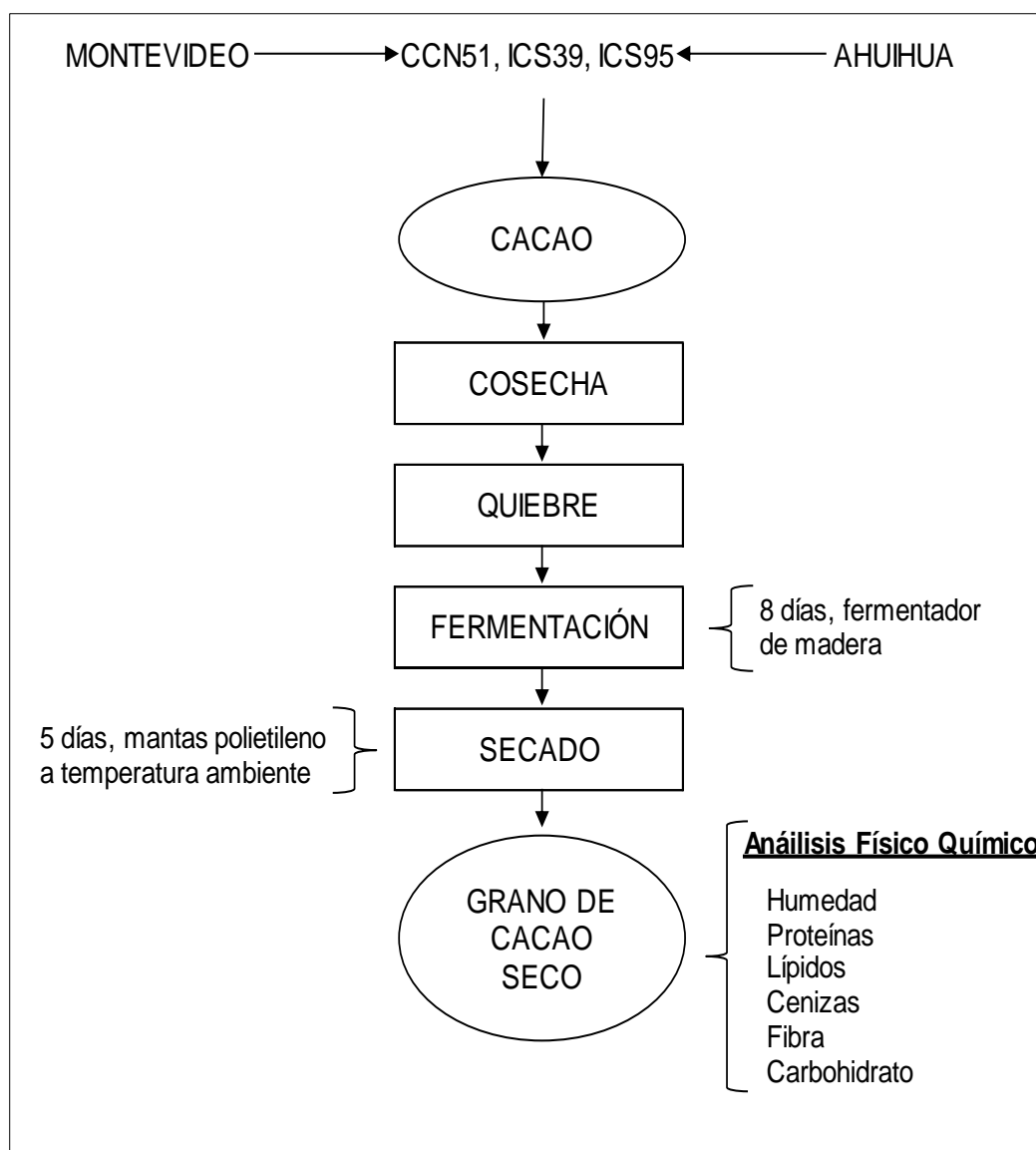


Figura 7. Diagrama de Flujo para la obtención del grano de cacao seco, (Fuente: Propia).

### Descripción del proceso:

Para el proceso se cosecharon al azar mazorcas sanas y maduras de cada clon de diferentes árboles de cacao, de las cuales se quebraron y se colocaron en un cajón fermentador en diferentes sacos.

La fermentación se realizó por 8 días, en un cajón fermentador de madera, en el proceso de fermentación se aplicó la remoción de la masa fermentante primero a 12 horas, después de 48 horas y luego cada 24 horas hasta cumplir los 8 días.

El secado se realizó en mantas, directamente con los rayos del sol, se realizó durante cinco días (05), la remoción en los primeros días se hizo cada dos horas (02), se evitó el contacto de la mezcla con el suelo para prevenir la contaminación. Después de obtener los granos secos de cacao se realizaron los análisis proximales respectivos.

En la Figura 8, se presenta el flujograma de operaciones para obtener el licor de cacao de los clones CCN 51, ICS 39 e ICS 95.

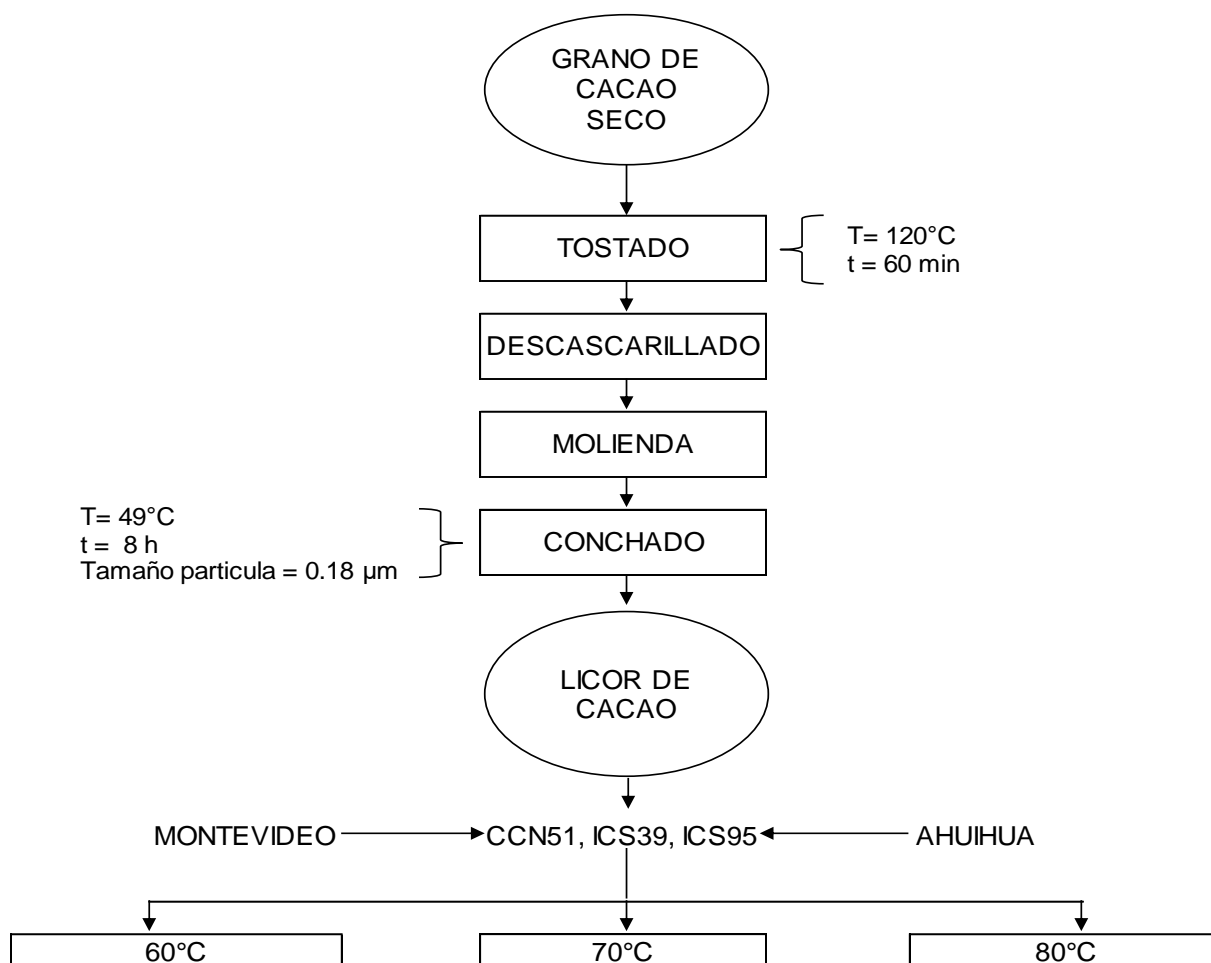


Figura 8. Diagrama de flujo para la obtención del licor de cacao, (Fuente: Propia)

### Descripción del proceso:

- **Tostado:** En este proceso primero se realizó una estabilización de temperatura a 150 °C, para luego llevar a una de 120°C durante 45 minutos logrando un tostado eficiente y uniforme, mediante la tostadora F20E.

- **Descascarillado:** Después del proceso de tostado se separó la cáscara de los granos mediante una descascarilladora.
- **Conchado:** El proceso de conchado se realizó por 8 horas para obtener el licor de cacao con un tamaño de partícula de 0,20 um, mediante la conchadora spectra 11.

### 2.3.1.1. Propiedades físicas del grano seco del cacao

#### a. Peso del grano

Se realizó tomando 100 granos de los diferentes clones para luego pesarla. El peso obtenido se dividió entre 100, obteniéndose el peso promedio de un grano. Se utiliza la siguiente formula, de la ecuación (5).

$$\text{Peso del grano} = \frac{\text{Gramos de muestra de cacao}}{100 \text{ granos de cacao}} \dots\dots\dots (5)$$

#### b. Tamaño del grano:

Se realizó colocando 1 kg de cacao, en una zaranda circular de tres tamices que miden: 12.5 mm, 9.5 mm, 6.3 mm, se agitó la zaranda y se pesan los granos de cacao que se alojan en cada zaranda.

#### c. Porcentaje de Fermentación:

El porcentaje de fermentación consistió en partir longitudinalmente 100 almendras tomadas al azar por cada muestra; que se colocaron sobre una base limpia y blanca, calificándolas de acuerdo a las características internas, de la ecuación (6).

$$\text{Porcentaje de fermentacion} = 100 - (PD + \% PV + \% V) \dots\dots\dots(6)$$

dónde:

PD : Promedio de defectos.

% PV: Porcentaje de parcialmente violeta.

% V : Porcentaje de violeta

### **2.3.1.2. Propiedades químicas del grano seco del cacao**

#### **a. Humedad:**

Se determinó por el método de estufa a presión atmosférica a 105°C hasta un peso constante por espacio de 24 horas (AOAC, 2005).

#### **b. Proteína:**

Se determinó por el método kjeldahl que consta de 3 procesos: digestión, destilación y titulación (AOAC, 2005).

#### **c. Grasa**

Se utilizó el método de Soxhlet donde se determinó el contenido de grasa en la muestra, extrayendo con éter dietílico como solvente (AOAC, 2005).

#### **d. Fibra**

Se determinó por hidrólisis ácida y alcalina (AOAC, 2005).

#### **e. Ceniza:**

Se determinó por calcinación (AOAC, 2005).

#### **f. Carbohidratos:**

Se determinó por diferencia restándose de 100 la sumatoria de los porcentajes de humedad, proteína, grasa, ceniza y fibra. (AOAC, 2005).

### **Determinación Reológica:**

Para proceder a la determinación de las propiedades reológicas se hizo uso del reómetro de cilindros concéntricos de la marca Brookfield DV - 111 Ultra, trabajando con 3 temperaturas de ensayo (60°C, 70°C y 80°C), controlando dichas temperaturas con el programa Rheocalc (programa que maneja el equipo y registra datos). Dichas temperaturas fueron escogidas por tener una correlación con el tiempo de molienda trabajada en la conchadora.



Se utilizó el SPINDLE RV 18, las velocidades rotacionales del cilindro interno estuvieron dentro del rango de 2 - 198 rpm. Los datos que se obtuvieron fueron viscosidad, torque, esfuerzo de corte y velocidad de corte, con estos datos se construyeron reogramas para caracterizar el tipo de fluido del licor de cacao.

### 2.3.1.3. Diseño experimental

Para conocer la diferencia de las propiedades: físico químicas de los clones (CCN51, ICS39 e ICS95); se usó un Diseño en Bloques Completo al Azar; los ensayos fueron por realizados por triplicado, con un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ , la confiabilidad se tomaron mediante el coeficiente de variación (CV). Así mismo se realizaron pruebas comparativas de medias de Tuckey.

Para evaluar la influencia del clon y la temperatura en el licor de cacao, se usó un DBCA con arreglo factorial (3x3) de dos factores (tipo de clon y temperatura de ensayo), 3 niveles para el factor tipo de clon (CCN 51, ICS 95, ICS 39) y 3 niveles para el factor temperatura (60°C, 70°C, 80°C), teniendo como bloques las localidades (Ahuihua y Montevideo), como se muestran en las tablas N°9 y N°10; las pruebas fueron realizadas por triplicado con un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ , la confiabilidad de los datos fue evaluada mediante el coeficiente de variación (CV).

Así mismo se realizaron pruebas comparativas de medias de Tuckey en función a las variables en estudio. Para esto se utilizó el paquete estadístico Origin V9.0, Statistica V10.0 y SAS System for Windows, los datos experimentales se ajustaron al siguiente modelo:

$$Z = \alpha + \beta_0 \times + B_1 Y + B_2 \times Y + B_3 X^2 + B_4 Y^2 \quad \dots\dots\dots(7)$$

donde:

$\alpha, \beta$ : Parámetros de ajuste.

X: Clones.

Y: Temperaturas.

**Tabla 9:***Diseño Experimental para análisis físico y químico.*

OBSERVACIONES	BLOQUES	CLONES	N° DE REPETICIONES
1	AHUIHUA	CCN51	1
2			2
3			3
4		ICS39	1
5			2
6			3
7		ICS95	1
8			2
9			3
10	MONTEVIDEO	CCN51	1
11			2
12			3
13		ICS39	1
14			2
15			3
16		ICS95	1
17			2
18			3

Fuente: Elaboración propia.

Como variables respuestas: Peso, largo, ancho y espesor del grano, grasa, fibra, proteína, ceniza, humedad, carbohidratos.

**Tabla 10:**

*Diseño experimental para esfuerzo umbral (y), índice de consistencia (k), índice de flujo (n)*

OBSERVACIONES	BLOQUES	CLONES	TEMPERATURA
1	AHUIHUA	CCN 51	60
2			60
3			60
4			70
5			70
6			70
7			80
8			80
9			80
10		ICS 39	60
11			60
12			60
13			70
14			70
15			70
16			80
17			80
18			80
19		ICS 95	60
20			60
21			60
22			70
23			70
24			70
25			80
26			80
27			80
28	MONTEVIDEO	CCN 51	60
29			60
30			60
31			70
32			70
33			70
34			80
35			80
36			80
37		ICS 39	60
38			60
39			60
40			70
41			70
42			70
43			80
44			80
45			80
46		ICS 95	60
47			60
48			60
49			70
50			70
51			70
52			80
53			80
54			80

Fuente: Elaboración propia.

### CAPITULO III

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 3.1. Características principales de la mazorca de cacao (*Theobroma cacao* L.).

En la Tabla 11, se muestran las principales características de los tres clones en estudio (CCN 51, ICS 95, ICS 39). En ella indica que los tres clones son de forma oblonga. En relación al color, el clon ICS39 en el estado no maduro presenta color verde y amarillo en su estado de madurez; el clon CCN51 en el estado no maduro presenta color rojo y rojo anaranjado en su estado de madurez y ICS95 en el estado no maduro presenta color rojo y rojizo en su estado de madurez, con respecto a la forma de grano longitudinal los clones CCN 51 y ICS 95 presentan una forma elíptica y el clon ICS 39 una forma oblongo regular.

**Tabla 11.**

*Principales características de la mazorca de 03 clones de cacao (*Theobroma cacao* L.).*

Características	Clones		
	CCN 51	ICS 95	ICS 39
Forma de la mazorca	oblongo	oblongo	oblongo
Color de la mazorca inmadura	rojo	rojo	verde
Color de la mazorca madura	rojo anaranjado	rojizo	amarillo
Forma del grano longitudinal	elíptica	elíptica	oblongo

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Caracterización física del grano fermentado seco de cacao (*Theobroma cacao* L.)

En la **Tabla 12** se presentan los resultados de las características físicas de los granos fermentados secos de cacao (CCN 51, ICS 39 y ICS 95), obtenidos en las zonas de Ahuihua y Montevideo. Se observa que el clon sobresaliente en las características biométricas fue el ICS 39, en las dos localidades (Ahuihua y Montevideo), teniendo un peso promedio de  $205.10 \pm 7.54$  a  $207 \pm 8.98$ , asimismo el largo oscila entre  $2.81 \pm 0.15$  y  $2.86 \pm 0.14$  cm, con ancho entre  $1.51 \pm 0.14$  y  $1.54 \pm 0.10$  cm y finalmente el espesor entre  $1.06 \pm 0.14$  y  $1.13 \pm 0.13$  cm, sin embargo el clon CCN 51 se destaca frente al ICS 95 presentando mayor peso del grano, mientras que en el largo, ancho y espesor no presentan

diferencias significativas. De acuerdo a la clasificación de peso de grano de la **FAO (2005)**, podemos mencionar que los tres clones se encuentran en la clasificación de grano grande (>120gramos en 100 granos de muestra), y con respecto al tamaño de grano, según la clasificación de **ACOPAGRO (2013)** se encuentran dentro de un tamaño de grano grande (>1.4 cm) de largo. Estadísticamente no existe diferencia significativa de las propiedades biométricas de los granos de cacao provenientes de las localidades Ahuihua y Montevideo, pero si hay entre un clon a otro.

**Tabla 12.**

*Características físicas del grano fermentado seco de 03 clones de cacao (Theobroma cacao L.), en 02 localidades.*

Clon	Medidas biométricas	Ahuihua	Montevideo
CCN 51	Peso de grano (100 granos)	173.20±2.34b	164.33±1.33b
	Largo (l) (cm)	2.54±0.12b	2.58±0.15b
	Ancho (a) (cm)	1.42±0.08b	1.36±0.07b
	espesor (cm)	0.87±0.08a	0.96±0.12a
ICS 95	Peso de grano (100 granos.)	143.90±4.18c	137.30±3.63c
	Largo (l) (cm)	2.54±0.25b	2.54±0.13b
	Ancho (a) (cm)	1.33±0.14b	1.30±0.08b
	espesor (cm)	0.83±0.11a	1.04±0.10a
ICS 39	Peso de grano (100 granos.)	207.00±8.98a	205.10±7.54a
	Largo (l) (cm)	2.81±0.15a	2.86±0.14a
	Ancho (a) (cm)	1.51±0.14a	1.54±0.10a
	espesor (cm)	1.06±0.14a	1.13±0.13a

Fuente: Elaboración propia.

\*Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA, n=3, Tukey, p<0.05), en el anexo 3.

Así mismo el ANOVA indico diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) de las propiedades biométricas entre clones (ICS 39, ICS 95 y CCN 51).

### 3.3. Características químicas de 03 clones del grano seco de cacao (*Theobroma cacao* L.), en 02 localidades.

En la **Tabla 13** se observa la composición química de las muestras en estudio, donde los clones muestran un alto contenido de grasa promedio de  $46.26 \pm 1.11$  (%), siendo el ICS 39 el clon sobresaliente,  $47.93 \pm 0.18$  (%), de la zona de Ahuihua y  $46.62 \pm 0.09$  (%) de la zona de Montevideo; valores similares a lo mencionado por la **Tabla Peruana de Composición de Alimentos (2009)** que indica un 46.3 g de grasa en 100g de muestra; sin embargo **Castillo (2009)** menciona que el CCN 51 contiene un alto porcentaje de grasa alcanzando valores de alrededor de 52%; por el contrario, **Adriazola (2003)** manifiesta que los granos de cacao están al borde de 48.58% de grasa.

El contenido de proteínas en los granos de cacao no presentan diferencia significativa entre los lugares de donde provienen donde la localidad de Montevideo presenta mayor porcentaje de  $11.89 \pm 0.29$  (%), a respecto de Ahuihua  $11.62 \pm 0.50$  (%), resultados similares a lo reportado por **Calderón (2002)**, 11.5%, mientras que **Adriazola (2003)** indica un contenido de 12.25% de proteína.

**Tabla 13:**

*Composición centesimal del grano fermentado seco de 03 clones de cacao (Theobroma cacao L.), en 02 localidades.*

Composición Base húmeda (%)	Ahuihua			Montevideo			*Tabla peruana composición de alimentos
	CCN51	ICS39	ICS95	CCN51	ICS39	ICS95	
Grasa	$46.28 \pm 0.58c$	$47.93 \pm 0.18a$	$46.64 \pm 0.06b$	$44.74 \pm 0.23c$	$46.62 \pm 0.09a$	$45.35 \pm 0.18b$	46.30
Fibra	$9.72 \pm 0.41a$	$9.55 \pm 0.01b$	$8.64 \pm 0.03c$	$9.38 \pm 0.05a$	$8.87 \pm 0.08b$	$8.52 \pm 0.01c$	8.60
Proteína	$11.05 \pm 0.01b$	$11.80 \pm 0.17a$	$12.00 \pm 0.21a$	$11.56 \pm 0.14b$	$12.04 \pm 0.02a$	$12.07 \pm 0.01a$	12.00
Ceniza	$2.28 \pm 0.01b$	$2.70 \pm 0.04a$	$2.82 \pm 0.03a$	$2.58 \pm 0.03b$	$2.64 \pm 0.01a$	$2.75 \pm 0.03a$	3.40
Humedad	$4.87 \pm 0.08a$	$4.56 \pm 0.09b$	$5.06 \pm 0.11a$	$5.02 \pm 0.08a$	$4.39 \pm 0.07b$	$5.06 \pm 0.02a$	3.60
Carbohidratos	$25.79 \pm 0.61a$	$23.46 \pm 0.46c$	$24.83 \pm 0.25b$	$26.73 \pm 0.18a$	$25.44 \pm 0.09c$	$26.25 \pm 0.17b$	34.70

Fuente: Elaboración propia.

\*Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA, n=3, Tukey,  $p < 0.05$ ), en el anexo 4.

### 3.4. Caracterización reológica del licor de 03 clones de cacao (*Theobroma cacao* L.).

#### 3.4.1. Efecto del tipo del clon y de la temperatura en las propiedades reológicas.

En las figuras 9a, 9b, 9c se muestran los reogramas, esfuerzo de corte (Pa) frente a la velocidad de deformación ( $s^{-1}$ ), para cada clon, CCN 51 9 a, ICS 39 b y ICS 95 c ; a diferentes temperaturas de trabajo (60°C, 70°C y 80°C) y en las dos zonas (Ahuihua y Montevideo). Se observa que cuando se incrementa la velocidad de deformación el esfuerzo cortante aumenta en forma no lineal, propia de los fluidos no newtonianos de acuerdo a lo mencionado por **MÜLLER (1973)**. El clon CCN 51 a 60°C, en la Figura 9a, el esfuerzo de corte disminuye a medida que la temperatura aumenta, de igual manera en las Figuras 9b y 9c, pero tienen diferente forma, esto es debido a que las temperaturas durante el proceso no fueron constantes siendo estas un intervalo promedio de  $\pm 3^{\circ}C$ . También se observan que los valores de esfuerzo cortante del clon ICS 95 c, es mayor en comparación con los clones CCN51 a y ICS39 b, que tienen un comportamiento parecido sometido a las diferentes temperaturas de proceso.

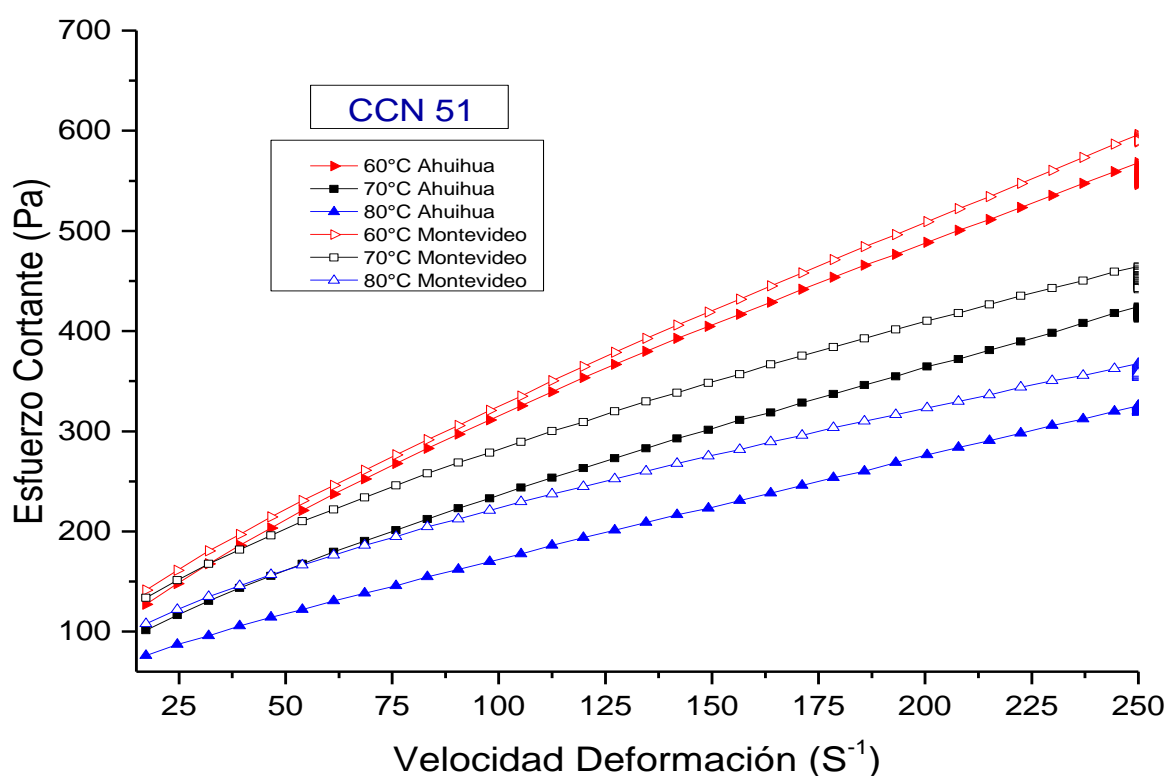


Figura 9a. Reogramas del CCN 51, a 03 temperaturas (60°C, 70°C y 80°C), en las localidades de Ahuihua y Montevideo, (Fuente: Propia).

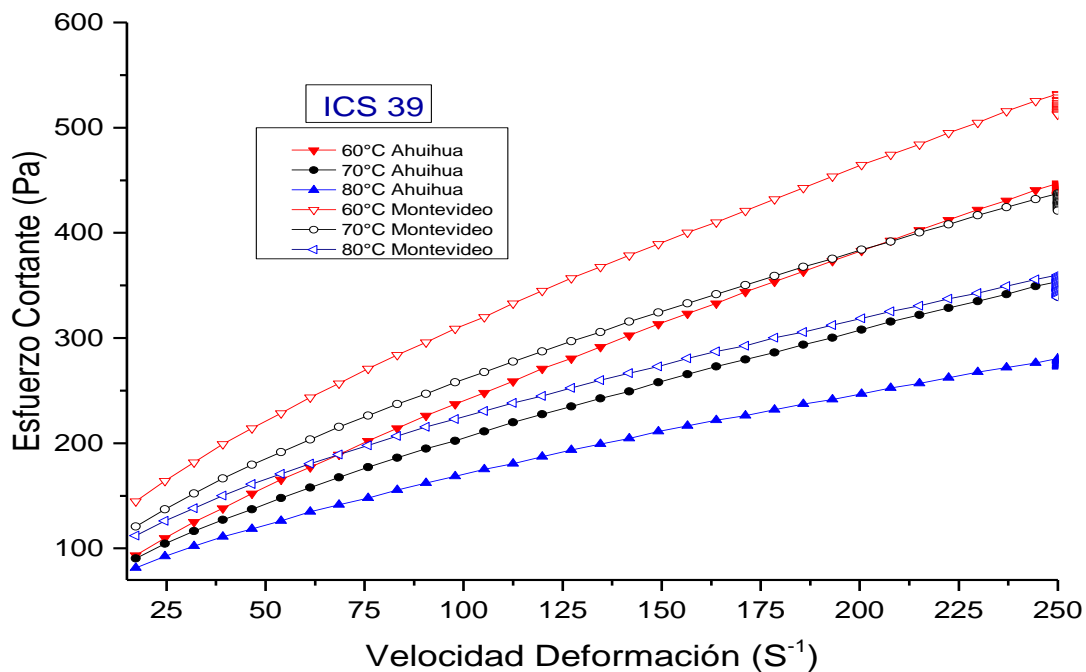


Figura 9b. Reogramas del ICS39, a 03 temperaturas (60°C, 70°C y 80°C), en las localidades de Ahuihua y Montevideo, (Fuente: Propia)

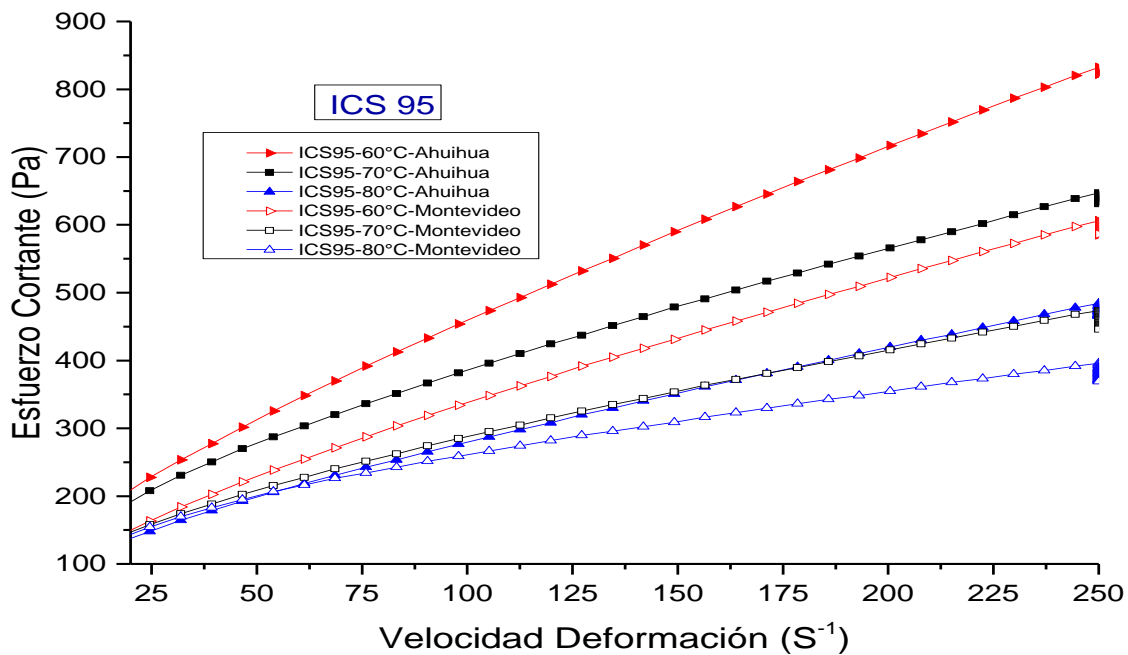


Figura 9c. Reogramas del ICS95, a 03 temperaturas (60°C, 70°C y 80°C), en las localidades de Ahuihua y Montevideo, (Fuente: Propia).



En las Figuras 10a, 10b y 10c, se observan las velocidades de deformación ( $S^{-1}$ ) y su efecto en el esfuerzo cortante (Pa); de los 03 clones (CCN 51, ICS 39 y ICS 95) a diferentes temperaturas ( $60^{\circ}C$ ,  $70^{\circ}C$  y  $80^{\circ}C$ ), en las zonas de Montevideo y Ahuihua, en los cuales el ICS 95 para las tres temperaturas presenta mayores valores de esfuerzo de corte y el ICS 39 con menores valores de esfuerzo de corte para las tres temperaturas, esto es debido al contenido de grasa, ya que a mayor porcentaje de grasa menor es el esfuerzo de corte.

Las figuras indican que los esfuerzos de corte dependen de la velocidad de deformación porque, cuando esta se incrementa el dicho esfuerzo aumenta, esto debido a la relación existente entre el esfuerzo cortante y la deformación o flujo, esto se cambia en menor o mayor medida cuando son sometidas a un sistema de fuerzas externas (esfuerzo cortante) como lo indica **Steffe (2005)**.

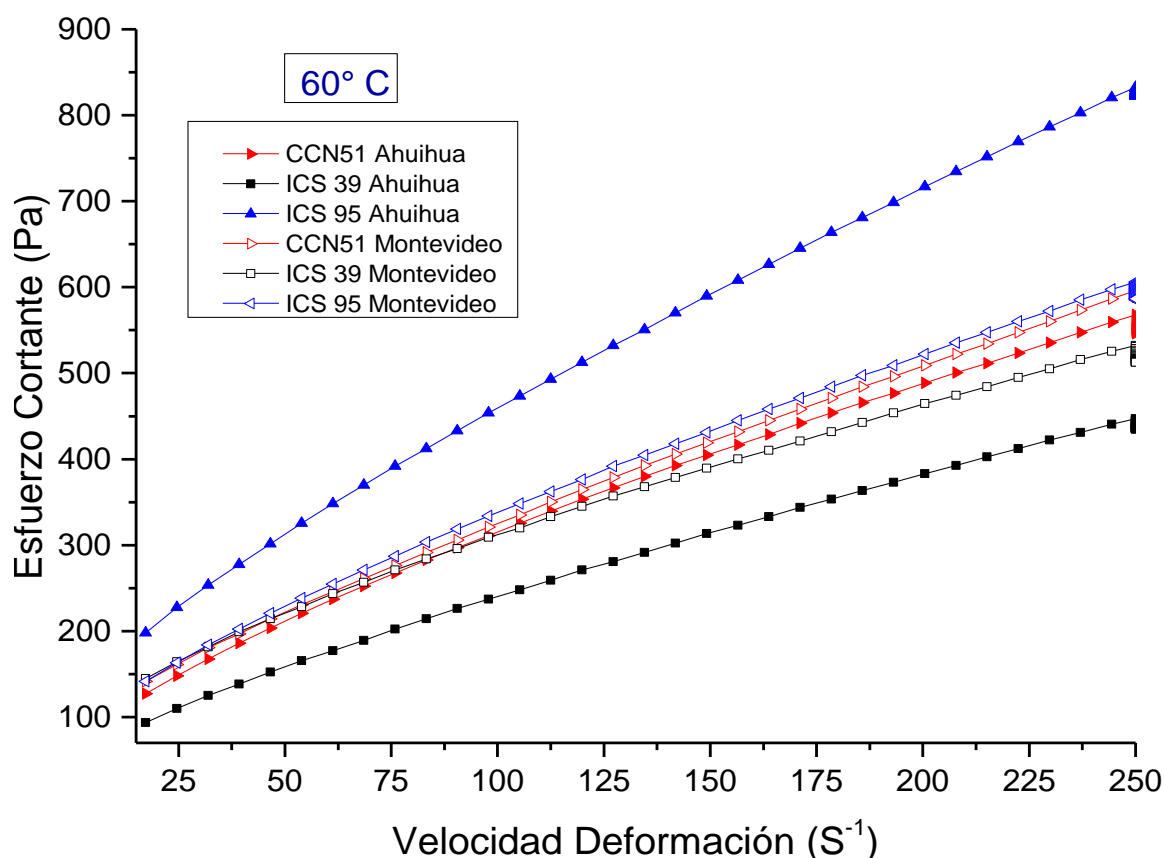


Figura 10a. Reogramas de los 03 clones a  $60^{\circ}C$ , en las localidades de Ahuihua y Montevideo, (Fuente: Propia).

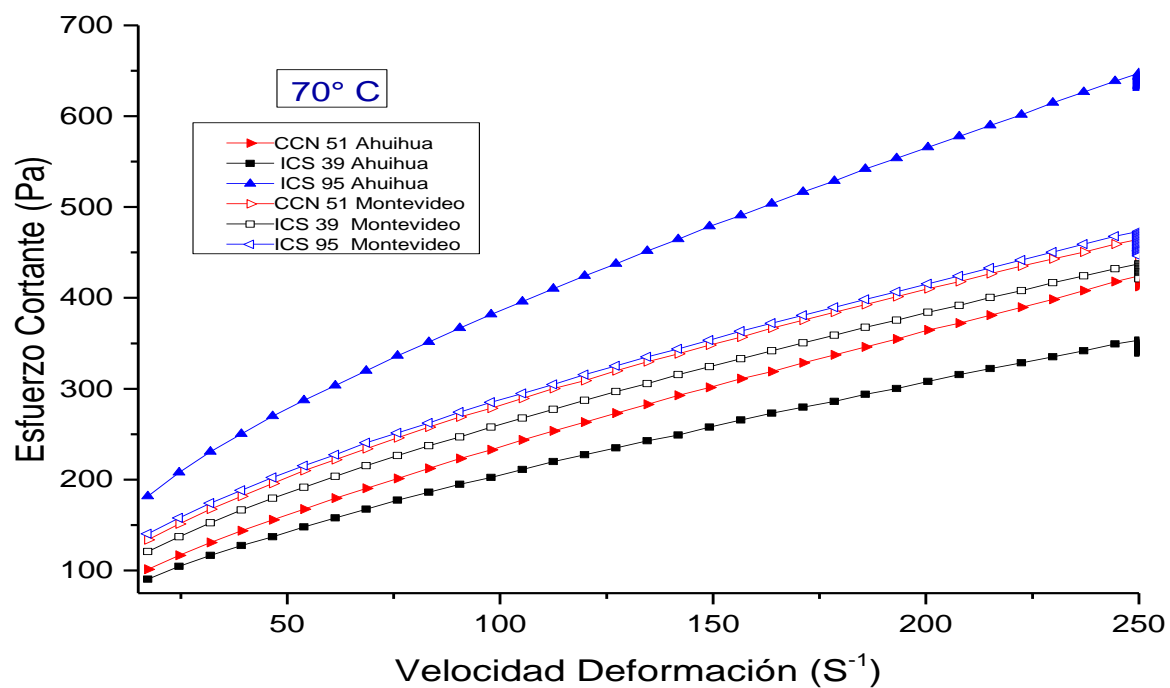


Figura 10b. Reogramas de los 03 clones a 70°C, en las localidades de Ahuihua y Montevideo, (Fuente: Propia).

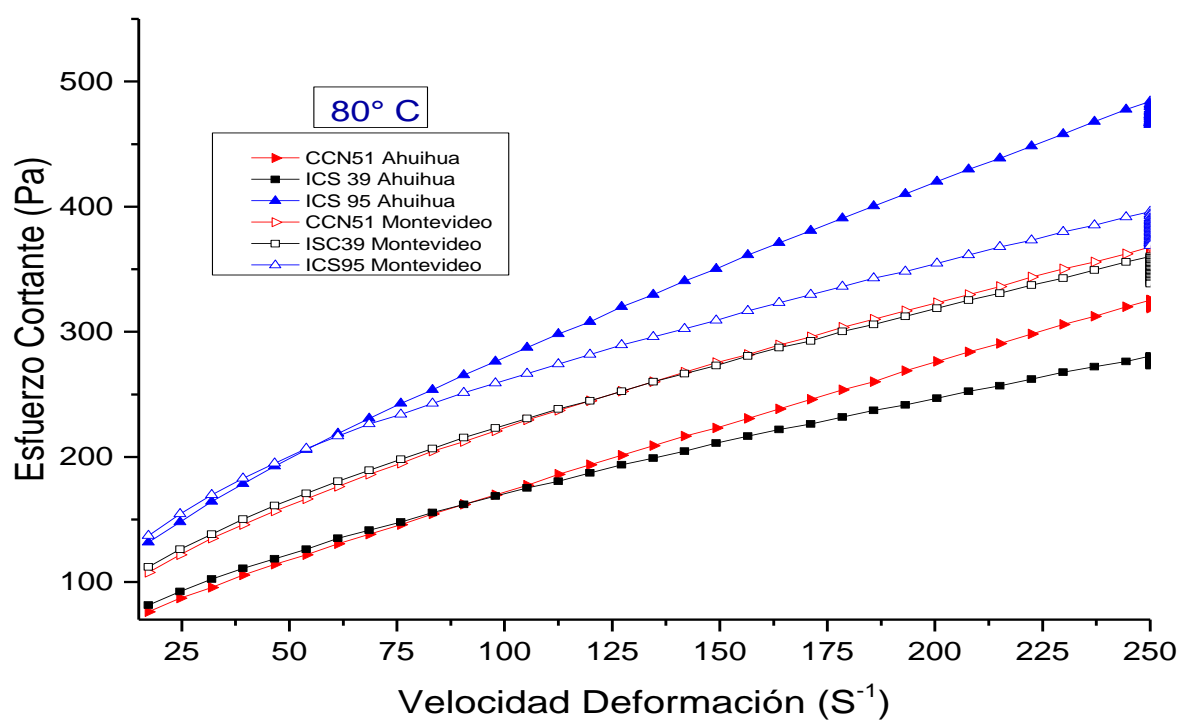


Figura 10c. Reogramas de los 03 clones a 80°C en las localidades de Ahuihua y Montevideo, (Fuente: Propia).

### 3.4.2. Efecto de la temperatura y del tipo del clon en la Viscosidad (cP).

En las Figuras 11a, 11b y 11c se observa que la viscosidad disminuye a medida que se incrementa la velocidad de deformación típico de fluidos pseudoplástico, (Martínez, 2002), La viscosidad se reduce drásticamente hasta aproximadamente  $75(s^{-1})$ , este comportamiento es para los tres clones, Levenspiel (2003) indica también que a mayor temperatura, la viscosidad es menor, esto porque con el incremento de la temperatura la cohesión disminuye, ya que la viscosidad depende de la cantidad de movimiento entre las moléculas.

En las figuras se muestra que la viscosidad disminuye al aumentar la temperatura en los tres clones y en las dos localidades.

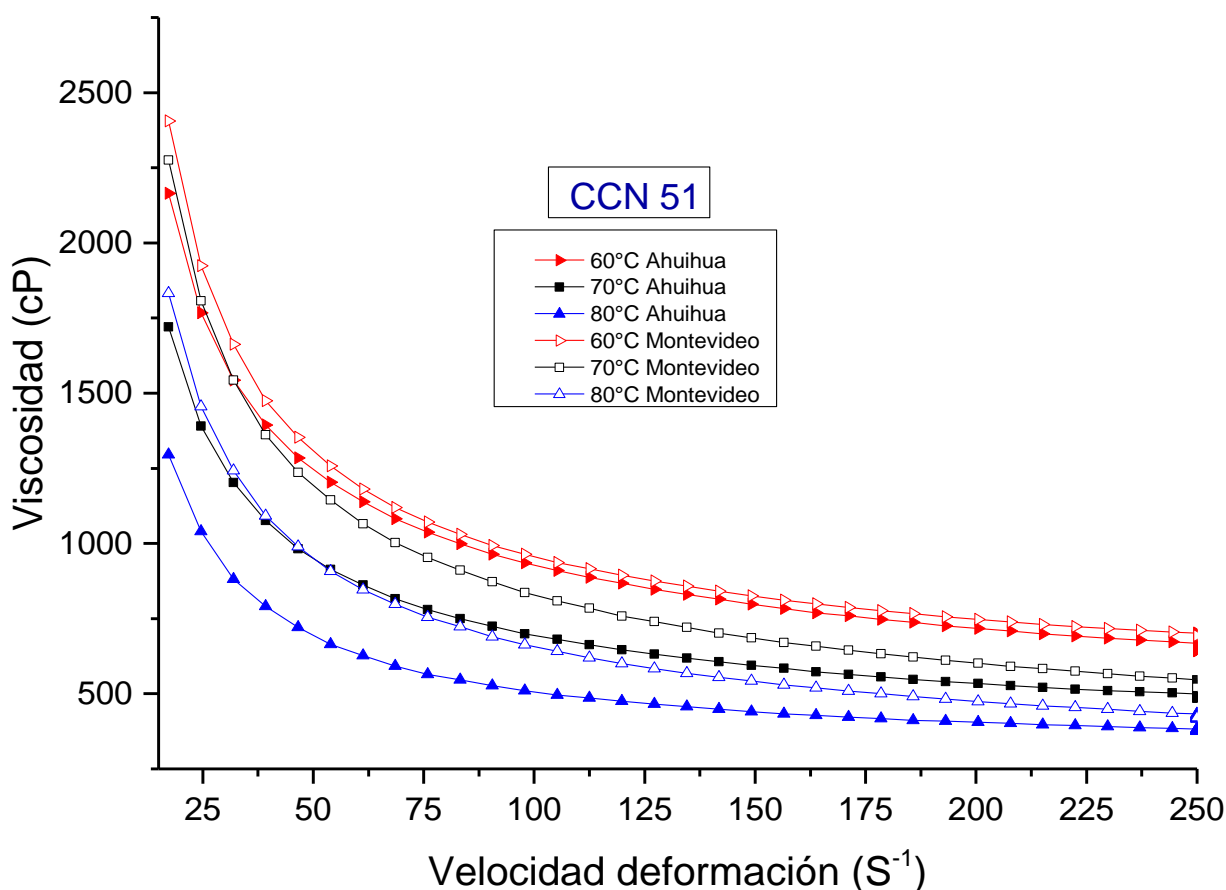


Figura 11 a. La viscosidad (cP) Vs la velocidad de deformación ( $S^{-1}$ ), en CCN 51 a 03 temperaturas (60°C, 70°C y 80°C), en las localidades de Ahuihua y Montevideo, (Fuente: Propia).

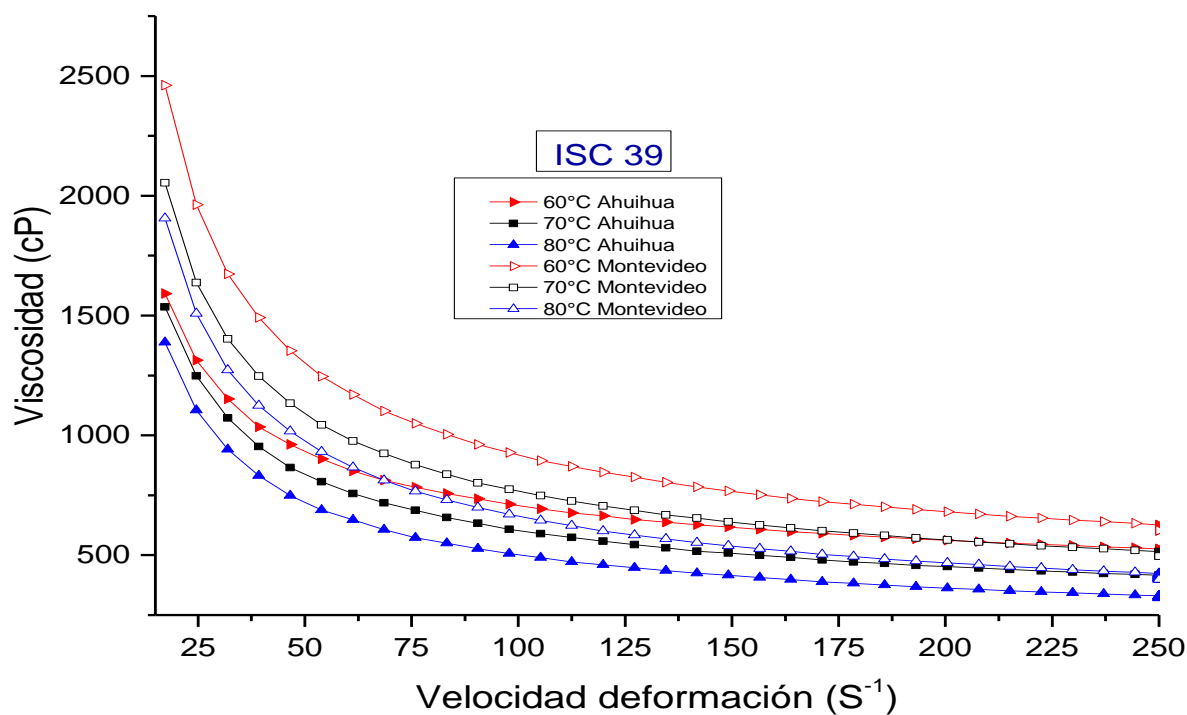


Figura 11b. La viscosidad (cP) Vs la velocidad de deformación ( $S^{-1}$ ), en ICS39 a 03 temperaturas (60°C, 70°C y 80°C), en las localidades de Ahuihua y Montevideo, (Fuente: Propia).

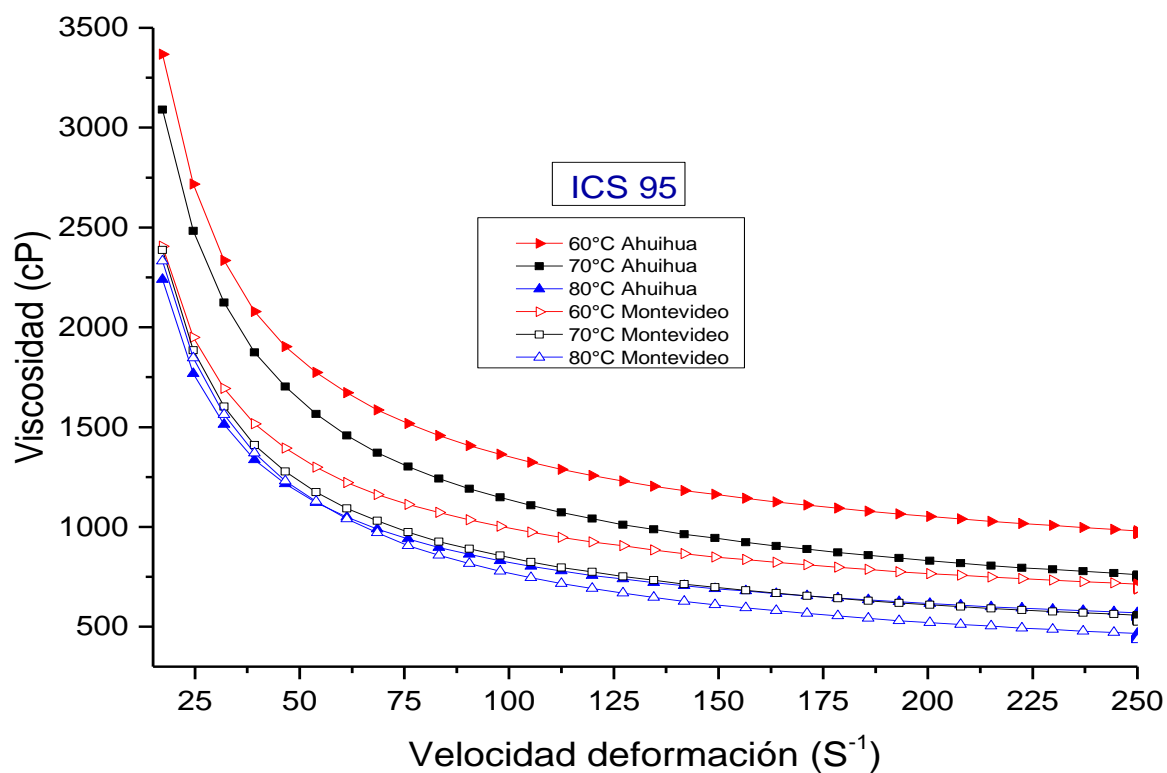


Figura 11c. La viscosidad (cP) Vs la velocidad de deformación ( $S^{-1}$ ), en ICS95 a 03 temperaturas (60°C, 70°C y 80°C), en las localidades de Ahuihua y Montevideo, (Fuente: Propia).

En las Figuras 12a, 12b y 12c se muestran el comportamiento de la viscosidad en función del tipo de clon y de las diferentes temperaturas, que la viscosidad disminuye a medida que se incrementa la velocidad de deformación, el clon ICS 95 tiene una viscosidad mayor que los clones CCN 51 y ICS 39 de la localidad de Ahuihua, sin embargo en la localidad de Montevideo los clones CCN 51, ICS 39 y ICS 95 tienen un comportamiento similar a la mismas temperaturas (60°C, 70°C y 80°C). Esto debido en que el licor de cacao posee partículas sólidas en suspensión provenientes de la molienda de la semilla de cacao durante la extracción de la materia prima.

La viscosidad se reduce drásticamente hasta aproximadamente  $75(s^{-1})$ , este comportamiento es para los tres clones en las tres temperaturas.

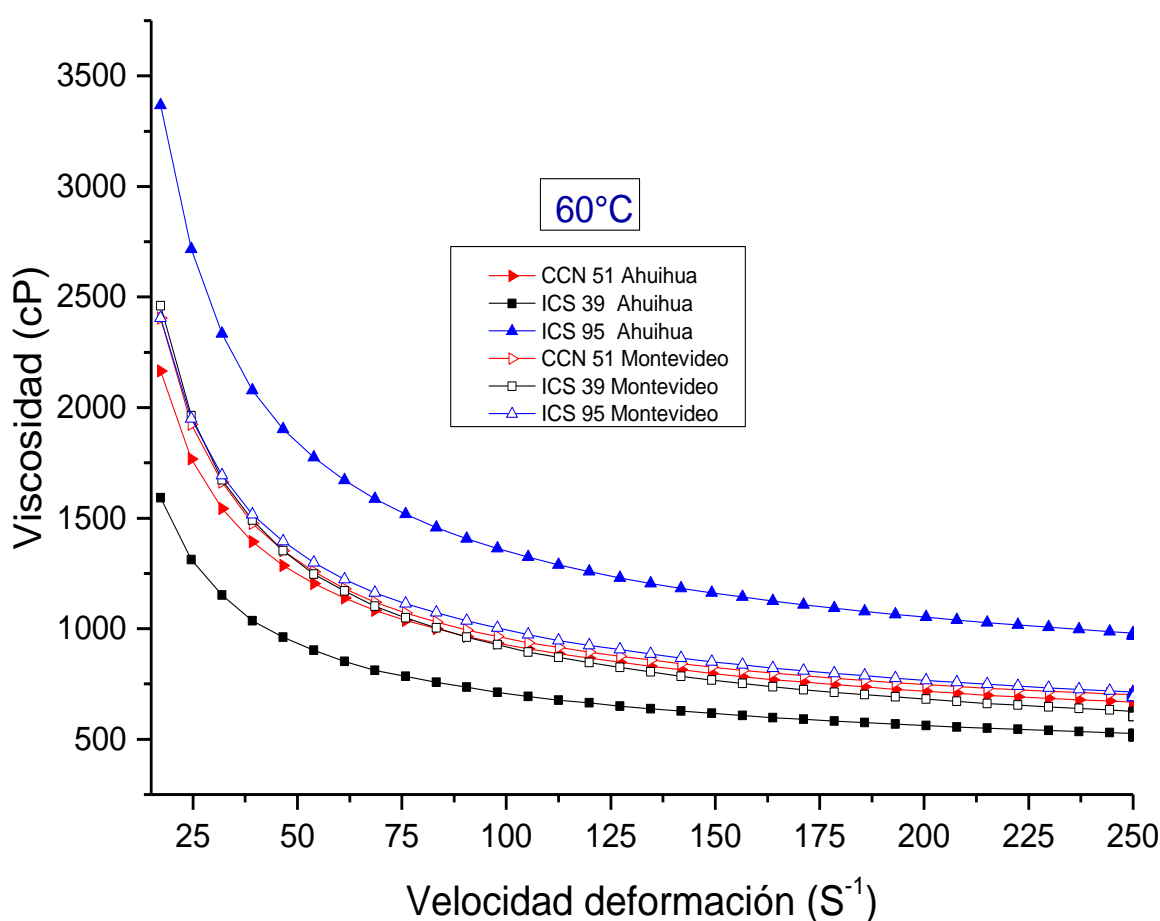


Figura 12 a. La viscosidad (cP) Vs efecto de la velocidad de deformación ( $S^{-1}$ ) a 60°C en tres clones diferentes en las localidades de Ahuihua y Montevideo, (Fuente: Propia).

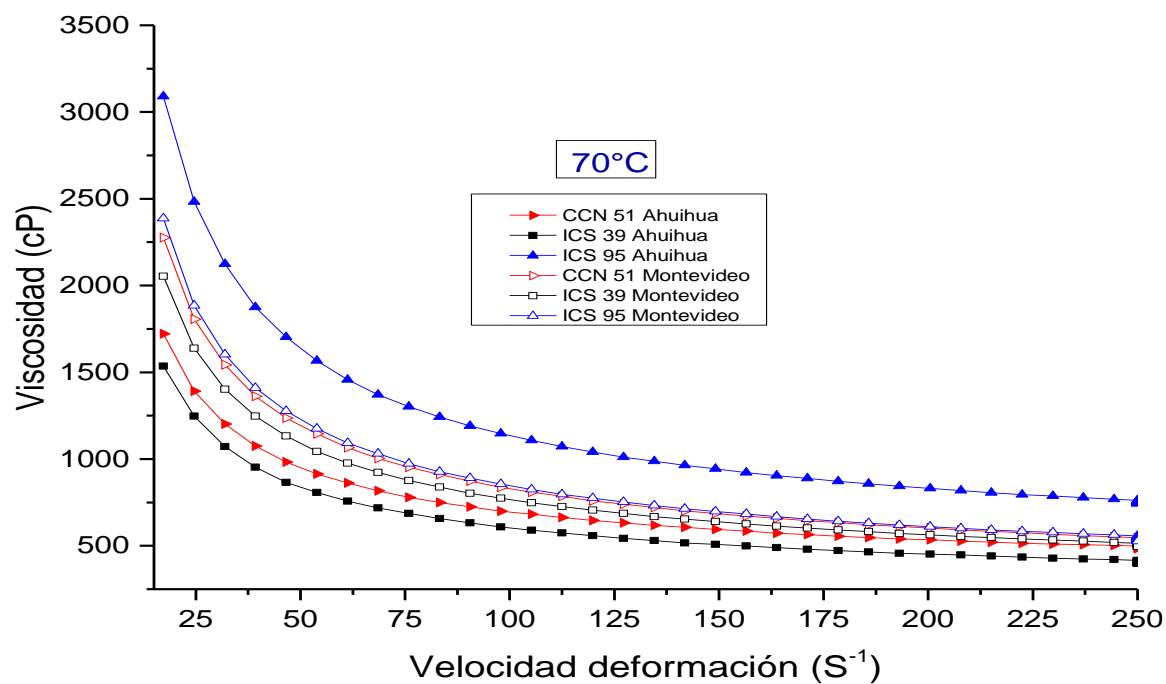


Figura 12 b. La viscosidad (cP) Vs efecto de la velocidad de deformación ( $S^{-1}$ ) a 70°C en tres clones diferentes en las localidades de Ahuihua y Montevideo, (Fuente: Propia).

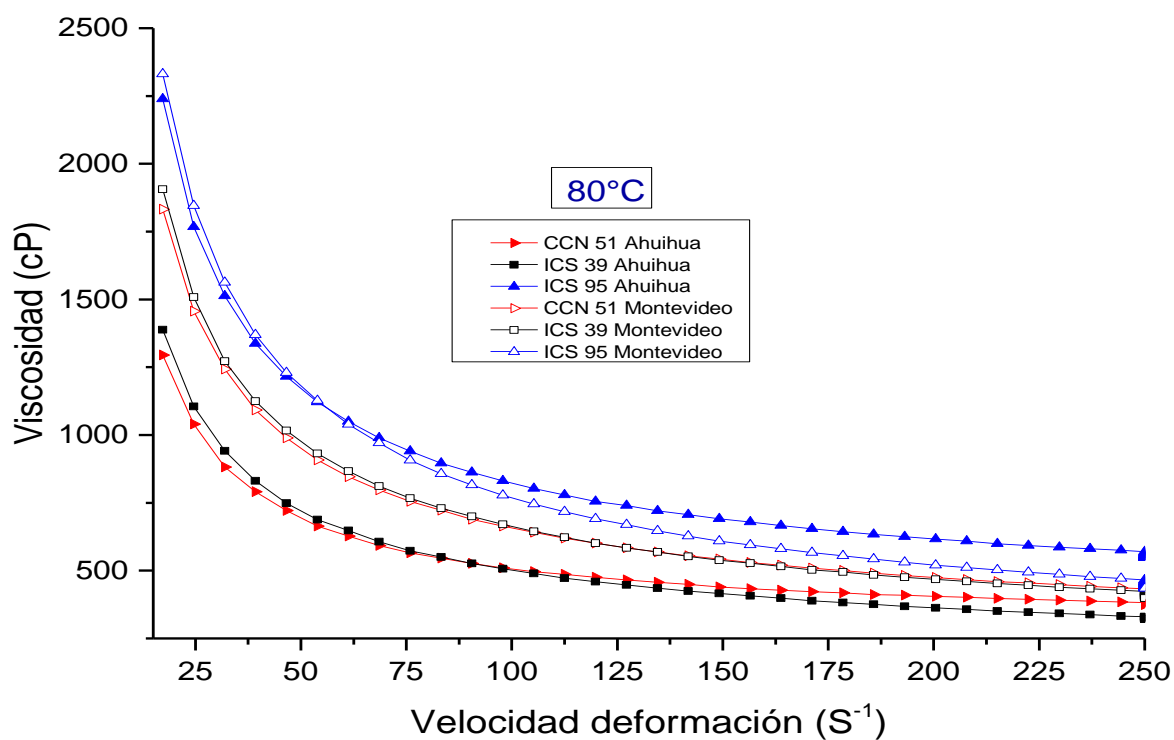


Figura 12 c. La viscosidad (cP) Vs efecto de la velocidad de deformación ( $S^{-1}$ ) a 80°C en tres clones diferentes en las localidades de Ahuihua y Montevideo, (Fuente: Propia).

### 3.4.3. Cálculo de los parámetros reológicos utilizando modelos matemáticos

En las figuras 13a, 13b, 13c, 18a, 18b, 18c, se muestran los valores experimentales con el ajuste de los modelos matemáticos estudiados (Ostwald de Waele o ley de la potencia, Herschel-Bulkley y Casson). Se observa las curvas que generan cada modelo matemático en función del esfuerzo de corte ( $\tau$ ) y la velocidad de deformación ( $\dot{\gamma}$ ) a temperaturas de: 60; 70 y 80°C, en el clon ICS95 en las localidades de Ahuihua y Montevideo, respectivamente.

- \* Las figuras **14**, **15**, **16** y **17**, de los ajustes experimentales con los modelos matemáticos se encuentran en el **Anexo 12**.

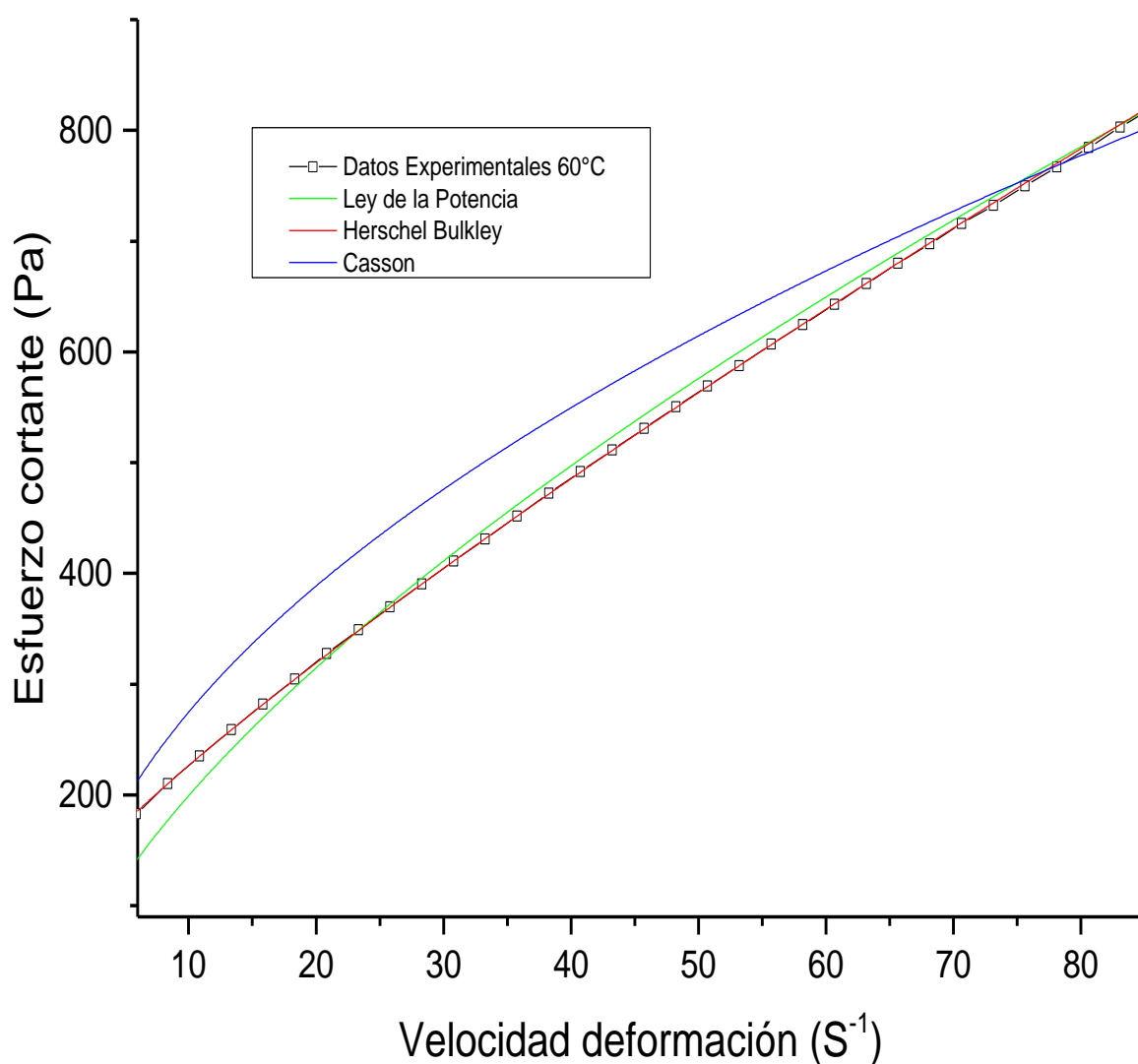


Figura 13a. Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos a 60°C, para el clon de cacao ICS 95 en la localidad de Ahuihua, (Fuente: Propia).

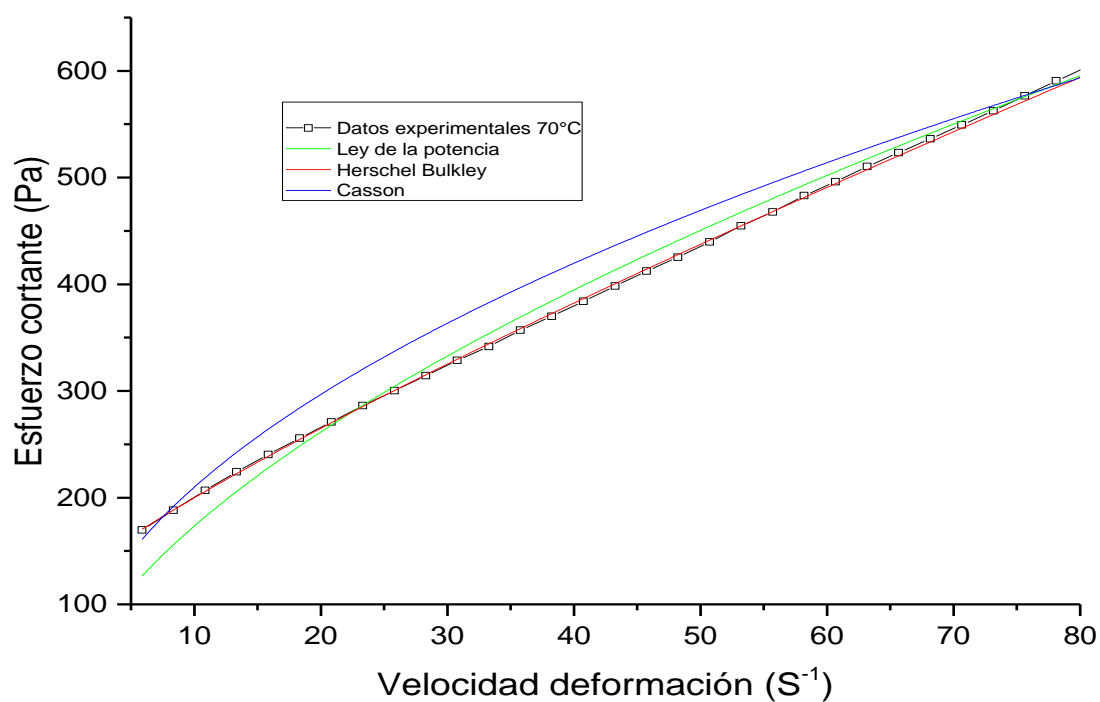


Figura 13b. Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos a 70°C, para el clon de cacao ICS 95 en la localidad de Ahuihua, (Fuente: Propia).

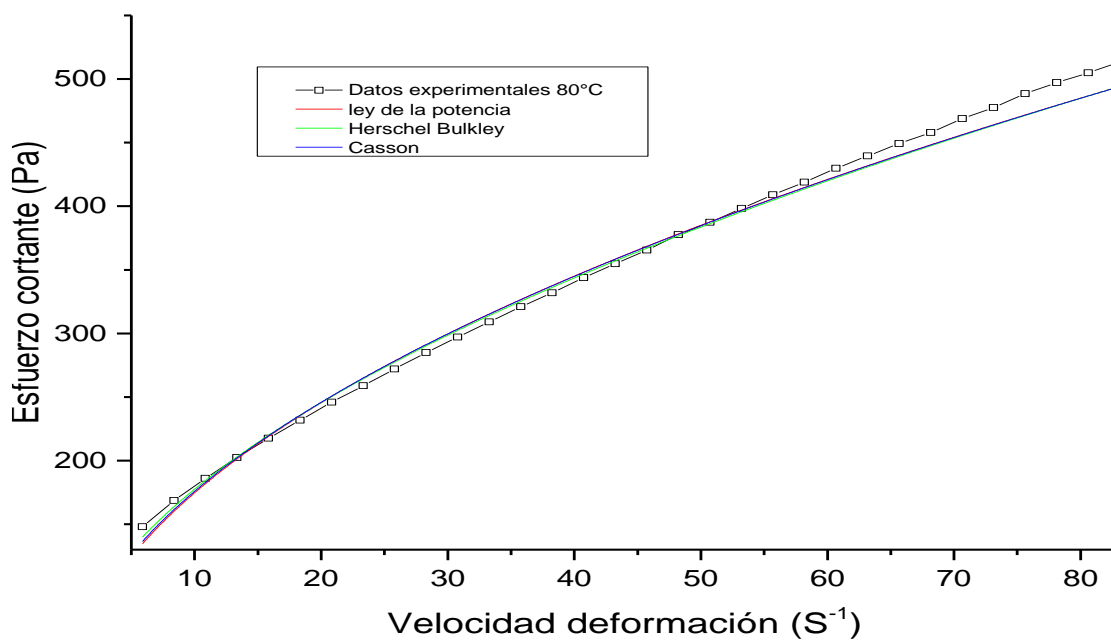


Figura 13c. Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos a 80°C, para el clon de cacao ICS 95 en la localidad de Ahuihua, (Fuente: Propia).



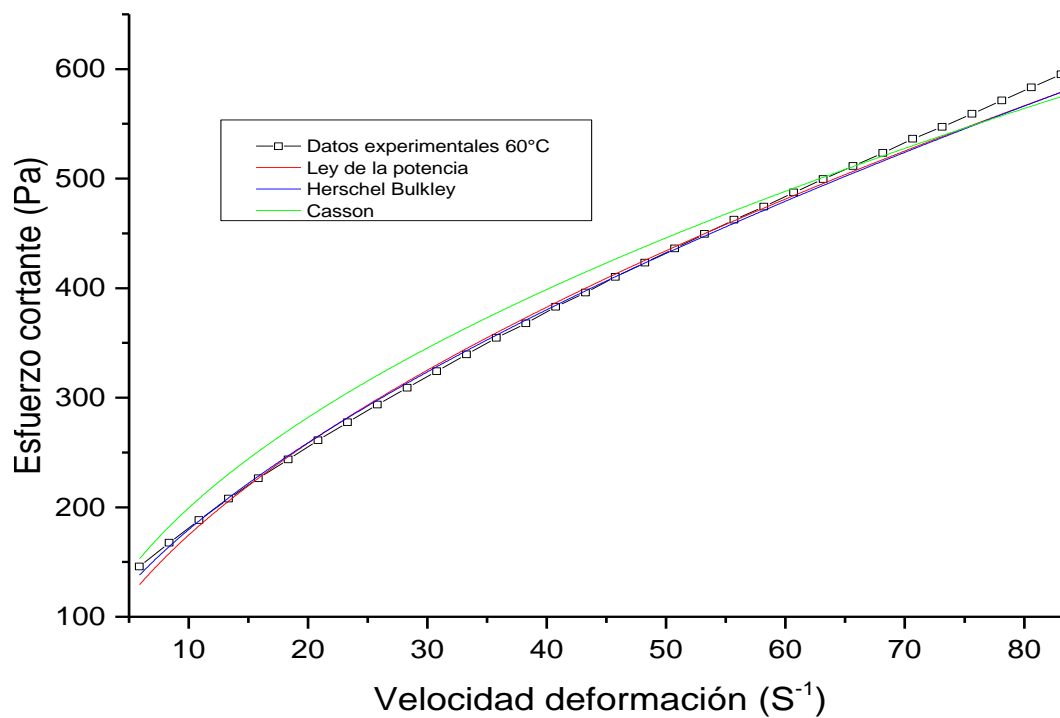


Figura 18a. Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos a 60°C, para el clon de cacao ICS95 en la localidad de Montevideo, (Fuente: Propia).

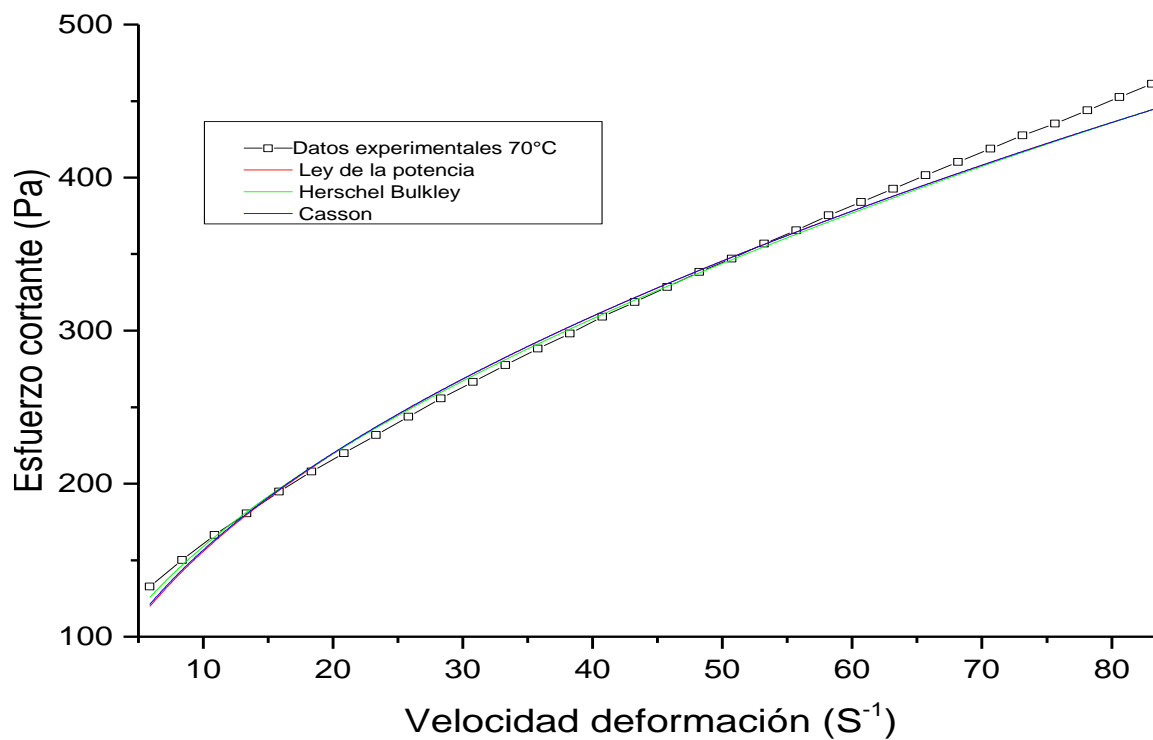


Figura 18b. Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos a 70°C, para el clon de cacao ICS95 en la localidad de Montevideo, (Fuente: Propia).

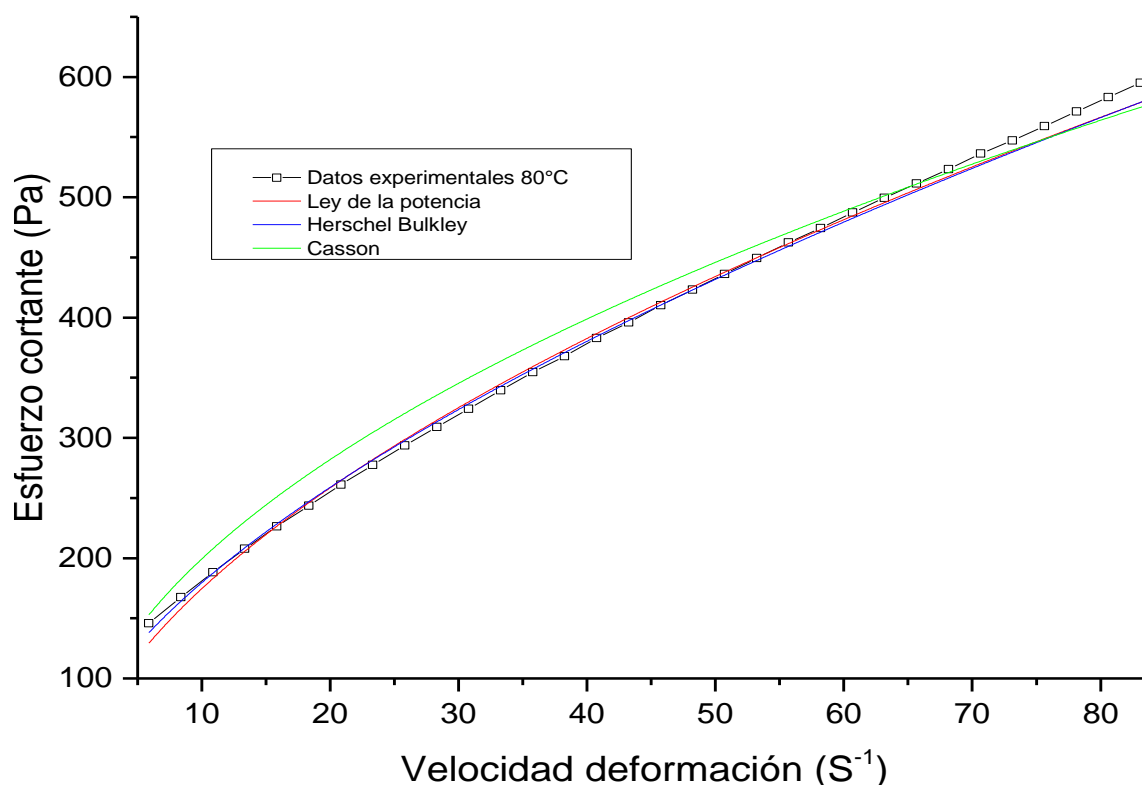


Figura 18c. Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos a 80°C, para el clon de cacao ICS95 en la localidad de Montevideo, (Fuente: Propia).

El modelo Herschel Bulkley es el que presenta mayor ajuste con los puntos experimentales para todas las temperaturas y las dos zonas de estudio. Cabe indicar que a medida que se incrementa la velocidad cortante el esfuerzo de corte es proporcional.

El modelo Casson y Ley de la potencia (Ostwald de Waele) son los modelos con menores ajustes a los valores experimentales, ya que Casson es muy utilizado en la industria alimentaria para predecir el comportamiento de fluidos, sin embargo los resultados presentes en esta investigación muestran lo contrario esto debido a que la viscosidad de Casson refleja la viscosidad a altas velocidades de corte.

En las Tablas 14, 15 y 16, se muestran los parámetros reológicos ajustados al modelo de Casson, Herschel-Bulkley y Ostwald de Waele respectivamente, para las temperaturas de estudio de 60; 70 y 80°C, en las localidades de Ahuihua y Montevideo, en los clones CCN 51, ICS 39 y ICS 95.

**Tabla 14:**

*Parámetros reológicos ajustados al modelo de Casson en diferentes localidades, clones de cacao y temperaturas.*

Localidad	T (°C)	Clones	Esfuerzo umbral $K_{oc}$ (Pa) <sup>0.5</sup>	Viscosidad plástica de Casson $K_c$ (Pa. S) <sup>0.5</sup>	R <sup>2</sup>	Chi Cuadrado X <sup>2</sup>
<b>Ahuihua</b>	60 °C	CCN 51	6.61E-14±6.53E-14	55.58±3.69	0.9573	865.01
		ICS 39	2.42E-14±2.09E-14	51.34±7.88	0.9742	267.35
		ICS 95	1.23E-13±1.55E-13	83.16±1.56	0.9692	1149.44
	70°C	CCN 51	7.26E-14±5.78E-14	42.80±0.78	0.9662	350.70
		ICS 39	2.20E-14±3.40E-14	37.36±0.44	0.9931	31.86
		ICS 95	2.76E-13±1.90E-13	66.29±2.38	0.9887	219.53
	80°C	CCN 51	9.53E-15±1.09E-14	33.64±1.10	0.9757	143.09
		ICS 39	2.97E-13±2.04E-13	29.99±0.54	0.9958	11.49
		ICS 95	2.82E-14±3.66E-14	52.09±2.68	0.9894	126.42
<b>Montevideo</b>	60 °C	CCN 51	6.02E-14±2.89E-14	60.65±2.02	0.9713	572.31
		ICS 39	2.42E-13±3.04E-14	55.77±1.51	0.9927	68.45
		ICS 95	2.31E-13±2.94E-13	61.98±0.52	0.9819	347.64
	70°C	CCN 51	7.5E-14±1.02E-13	49.57±0.35	0.9955	45.18
		ICS 39	6.22E-14±3.39E-14	44.53±2.55	0.9926	41.99
		ICS 95	3.02E-14±2.38E-14	49.82±0.37	0.9957	42.78
	80°C	CCN 51	7.36E-14±1.21E-13	38.08±1.03	0.9943	34.50
		ICS 39	6.52E-14±1.11E-14	35.49±0.86	0.9912	41.71
		ICS 95	2.67E-14±1.80E-14	37.94±0.34	0.9989	7.77

Fuente: Elaboración propia.

Analizando los tres modelos matemáticos en estudio, el modelo Herschel-Bulkley es el que presenta los más altos valores del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y los más bajos valores de Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) a excepción del clon ICS 39 en las tres temperaturas y en las dos zonas consideradas.

Observando los resultados para las temperaturas de 60, 70 y 80°C, puede notarse que los datos obtenidos para este modelo presentan interpretación física real generando la existencia de un esfuerzo umbral ( $\gamma$ ), resaltando en ello que mientras más constantes posee un modelo matemático mejor será el ajuste del mismo sin tomar en cuenta la significación de cada uno de dichas constantes.

**Tabla 15.**

*Parámetros reológicos ajustados al modelo de Herschel-Bulkley en diferentes localidades clones de cacao y temperaturas.*

Localidad	T (°C)	Clones	Esfuerzo umbral $\tau_0$ (Pa)	Índice de consistencia K (Pa.s <sup>n</sup> )	Índice de flujo $\eta$ (adimensional)	R <sup>2</sup>	Chi Cuadrado X <sup>2</sup>
<b>Ahuihua</b>	60 °C	CCN 51	55.28±0.09	18.84±0.62	0.74±0.01	0.9999	0.47
		ICS 39	31.18±7.27	20.67±8.37	0.70±0.05	0.9968	39.39
		ICS 95	109.71±4.72	19.84±1.66	0.81±0.02	0.9999	0.33
	70°C	CCN 51	56.86±0.83	9.77±1.69	0.82±0.04	0.9999	0.41
		ICS 39	25.49±4.41	21.43±2.18	0.61±0.62	0.9966	15.45
		ICS 95	108.92±19.15	19.02±8.94	0.77±0.12	0.9999	1.49
	80°C	CCN 51	51.46±4.56	7.78±2.78	0.81±0.08	0.9999	0.45
		ICS 39	34.25±3.29	14.38±1.40	0.64±0.02	0.9977	6.15
		ICS 95	80.68±2.21	15.19±4.12	0.75±0.05	0.9999	0.68
<b>Montevideo</b>	60 °C	CCN 51	84.67±1.07	17.16±3.95	0.77±0.05	0.9999	0.78
		ICS 39	50.37±0.23	30.86±1.08	0.61±0.012	0.9936	59.92
		ICS 95	68.15±4.33	21.41±3.40	0.73±0.04	0.9999	0.29
	70°C	CCN 51	77.27±9.55	17.39±2.59	0.70±0.03	0.9999	0.67
		ICS 39	33.57±4.00	31.05±3.59	0.57±0.02	0.9930	39.05
		ICS 95	75.39±4.94	17.90±0.30	0.70±0.00	0.9999	0.28
	80°C	CCN 51	64.87±5.23	12.89±4.00	0.72±0.07	0.9998	0.75
		ICS 39	25.90±4.06	31.14±4.17	0.53±0.03	0.9887	41.66
		ICS 95	73.96±4.06	26.23±8.70	0.58±0.07	0.9995	2.66

Fuente: Elaboración propia.

El índice de flujo ( $\eta$ ) en el modelo Herschel Bulkley representa el grado de desviación en relación al comportamiento newtoniano, cuando es menor que la unidad,  $<1$ , el fluido es no newtoniano, en la **Tabla 16** se observa que la viscosidad del fluido disminuye a medida que aumenta la velocidad de deformación.

Los valores expresados de los clones de cacao CCN 51, ICS 39 e ICS 95 a 60, 70 y 80°C, a medida que aumenta la temperatura disminuye el índice de flujo ( $0.73\pm0.03$ ,  $0.69\pm0.15$  y  $0.67\pm0.25$  respectivamente), son valores que se alejan a la unidad y esto hace que deje de ser un comportamiento newtoniano.

Sin embargo se observa que los resultados en la ley de la potencia los resultados que reflejan una disminución en el índice de flujo en promedio alrededor de  $0.61\pm0.02$ ,  $0.54\pm0.01$  y  $0.51\pm0.01$ ; a los clones CCN 51, ICS 39 e ICS 95 y a temperaturas 60°C, 70°C y 80°C, observándose que estos valores son menores que la unidad y por lo tanto tienen un menor índice de flujo.

**Cabral (2002)** evaluó el comportamiento reológico de la pulpa de copoazú tamizado, y ajustó los valores reales mediante los modelos de Herschel-Bulkley Ostwald Waele, Casson, encontró que el modelo Herschel-Bulkley presento los mejores coeficientes de determinación ( $R^2$ ), los resultados arrojaron que las muestras presentaron un comportamiento no newtoniano con carácter pseudoplástico.

**Tabla 16:**

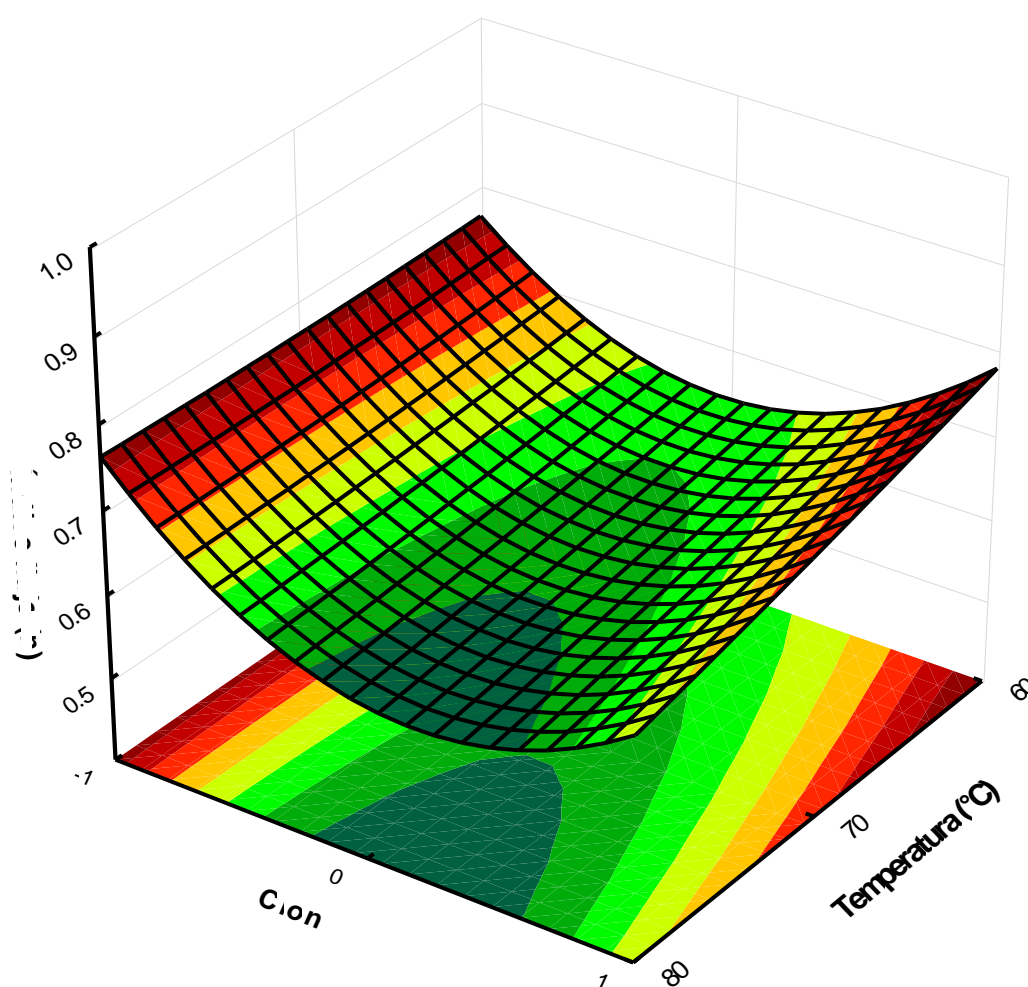
*Parámetros reológicos ajustados al modelo de Ostwald de Waele (Ley de la potencia) en diferentes localidades clones de cacao y temperaturas*

Localidad	T (°C)	Clones	Índice de consistencia K (Pa.s <sup>n</sup> )	Índice de flujo n (adimensional)	R <sup>2</sup>	Chi Cuadrado X <sup>2</sup>
<b>Ahuihua</b>	60 °C	CCN 51	30.52±9.53	0.66±0.07	0.9976	44.58
		ICS 39	30.01±7.66	0.62±0.02	0.9965	43.14
		ICS 95	51.99±4.22	0.62±0.03	0.9963	136.33
	70°C	CCN 51	25.87±2.83	0.63±0.02	0.9963	36.29
		ICS 39	31.20±0.97	0.54±0.01	0.9963	16.94
		ICS 95	56.62±9.00	0.54±0.03	0.9942	112.28
	80°C	CCN 51	23.28±4.09	0.59±0.04	0.9949	29.72
		ICS 39	27.60±1.21	0.52±0.01	0.9967	9.00
		ICS 95	43.52±6.50	0.55±0.03	0.9955	53.77
	60 °C	CCN 51	4035±9.38	0.61±0.05	0.9961	103.29
		ICS 39	53.05±3.89	0.51±0.01	0.9933	63.20
		ICS 95	44.28±3.44	0.59±0.02	0.9979	41.14
<b>Montevideo</b>	70°C	CCN 51	47.20±1.82	0.51±0.01	0.9961	39.93
		ICS 39	48.93±7.02	0.49±0.04	0.9929	40.20
		ICS 95	47.30±1.96	0.51±0.01	0.9963	36.70
	80°C	CCN 51	37.77±5.42	0.51±0.03	0.9952	29.35
		ICS 39	45.48±4.92	0.46±0.02	0.9887	41.99
		ICS 95	63.72±11.45	0.41±0.03	0.9965	20.06

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.4. Efecto combinación de la temperatura y clones frente al índice de flujo ( $\eta$ ), Índice de consistencia (k) y esfuerzo umbral ( $\gamma$ )

De acuerdo en la **Figura 19** se muestra el efecto de la temperatura frente al índice de flujo nos indica que existe una diferencia significativa y de los clones de cacao es altamente significativa y que el clon CCN 51 cuanta con valores elevados de  $\eta$  constantes a lo largo de las tres temperaturas, mientras que el clon ICS 95 a temperaturas de 60 a 70 °C alcanza a obtener mayores valores que el clon ICS 39. La gráfica presenta un coeficiente de determinación de 73.77%.



*Figura 19.* Superficie de respuesta del índice de flujo del licor de tres clones de cacao CCN 51(-1), ICS 39(0) e ICS 95(1), a temperaturas de (60°C, 70°C y 80°C), (Fuente: Propia).

La influencia de la temperatura y el tipo de clon en el índice de consistencia (k) es mostrada en la **Figura 20**. El análisis de varianza se muestra en el **Anexo 2**, la temperatura y el tipo de clon influyen significativamente ante (k). El coeficiente de determinación

indica el grado de ajuste de la gráfica 61.23%, sin embargo la interacción temperatura clon no existe diferencia estadística.

Se observa que los clones CCN 51 e ICS 39, cuentan con mayor índice de consistencia a lo largo de las tres temperaturas de estudio (60, 70 y 80°C) y se observa que en el clon ICS 95 la temperatura no influye significativamente alcanzando valores menores de (k).

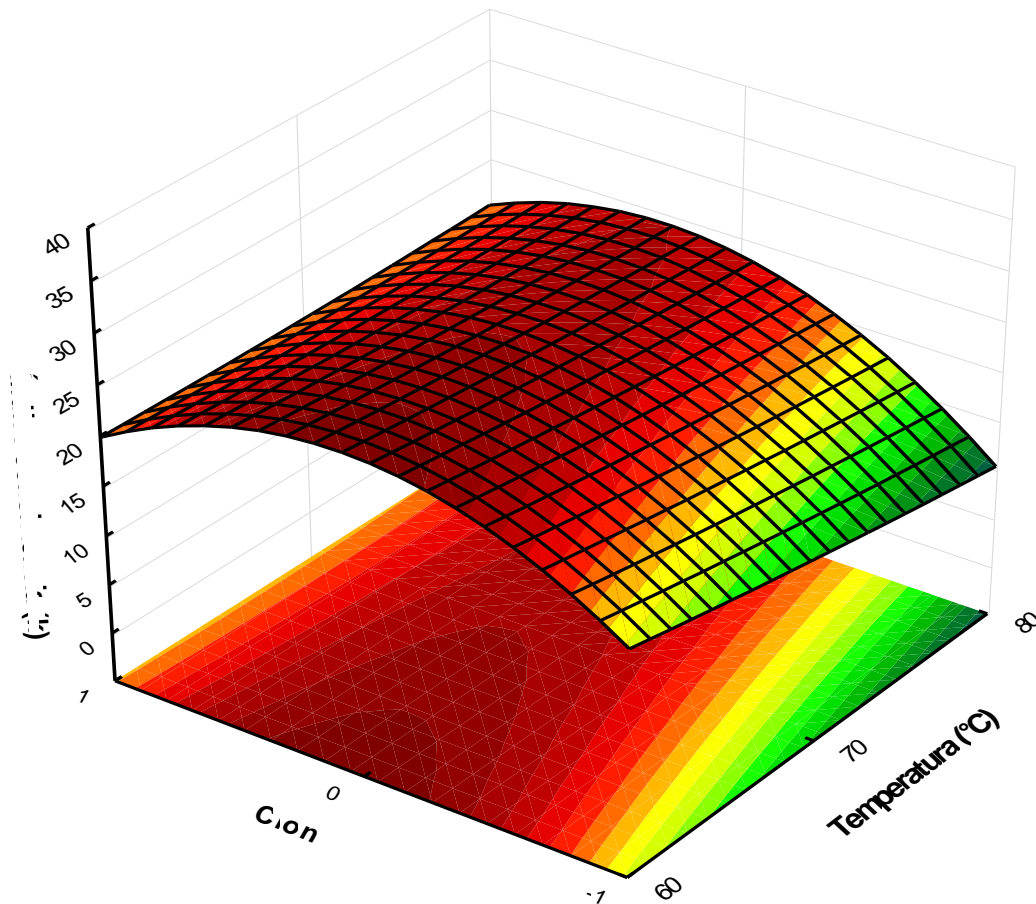
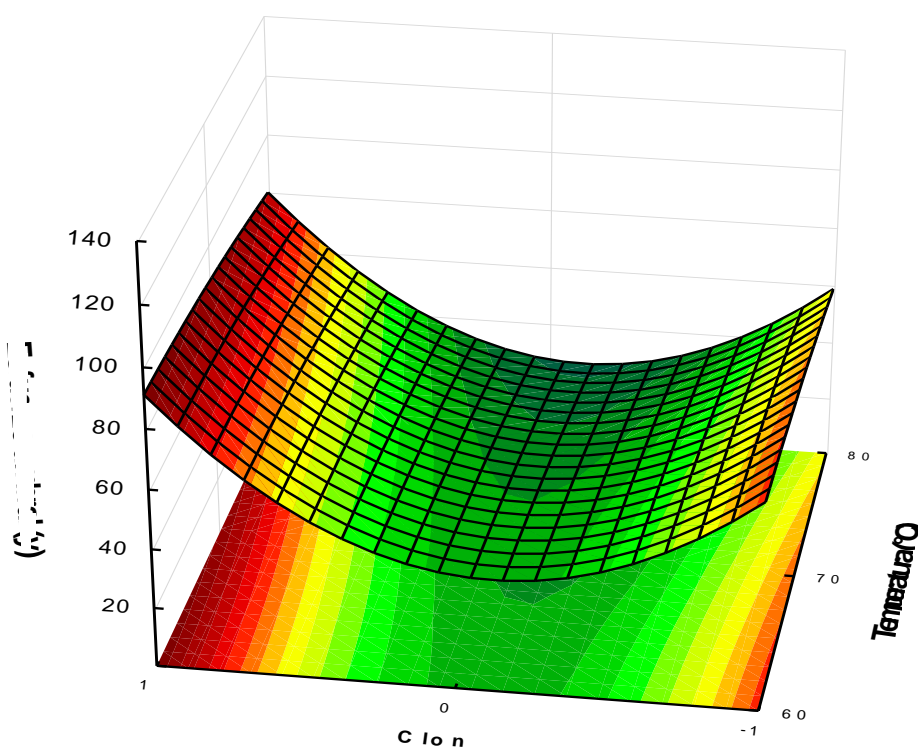


Figura 20. Superficie de respuesta del índice de consistencia (k) del licor de tres clones de cacao CCN 51(-1), ICS 39(0) e ICS 95(1), a temperaturas de (60, 70 y 80°C), (Fuente: Propia).

El índice de consistencia (k) del fluido es una variable indirecta de la viscosidad, pero sus unidades dependen del índice de flujo ( $\eta$ ). El fluido se vuelve más espeso o viscoso a medida que el k se incrementa, (PANCHI, 2013).

En la **Figura 20** se observa que (k) es afectado significativamente por la temperatura, la cual decrece lentamente a medida que la temperatura asciende; sin embargo en los clones CCN 51 y ICS 39 la temperatura no afecta a k por lo tanto indica que estos dos clones tendrían un comportamiento más viscoso o espeso, esto debido a las variaciones que podrían haber sufrido las temperaturas en las muestras.

En el **Anexo 2**, se observa el análisis de varianza donde indica que la temperatura (Q) no influye significativamente, mientras que en los clones si existe diferencias altamente significativas.



*Figura 21.* Superficie de respuesta del esfuerzo Umbral (y) del licor de tres clones de cacao CCN 51(-1), ICS 39(0) e ICS 95(1), a temperaturas de (60, 70 y 80°C), (Fuente: Propia).

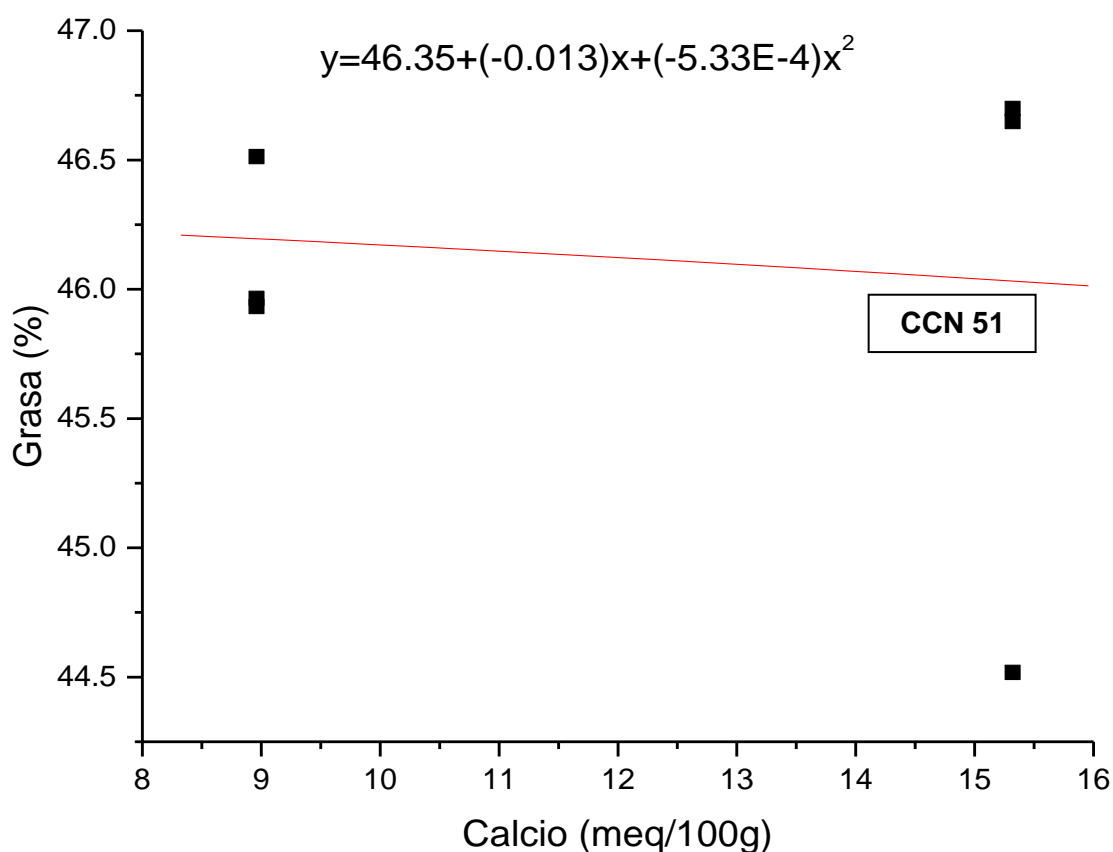
En la **Figura 21**, se muestra el efecto de la temperatura y los clones con respecto al esfuerzo umbral (y), la temperatura influye significativamente ( $P < 0.05$ ) al esfuerzo umbral y al mismo tiempo un efecto altamente significativo (ver **Anexo 2**) con los clones; se observa que a medida que disminuye la temperatura el clon ICS 95 y el CCN 51 tiene un esfuerzo umbral mayor que el ICS39 con respecto a la temperatura, a su vez el ICS 95 es mucho mayor que el CCN 51. Asimismo expresa un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) 74.32% y una media residual de 194.96 Pa.



### 3.4.5. Regresión polinomial del contenido de grasa Vs la concentración de calcio en el suelo.

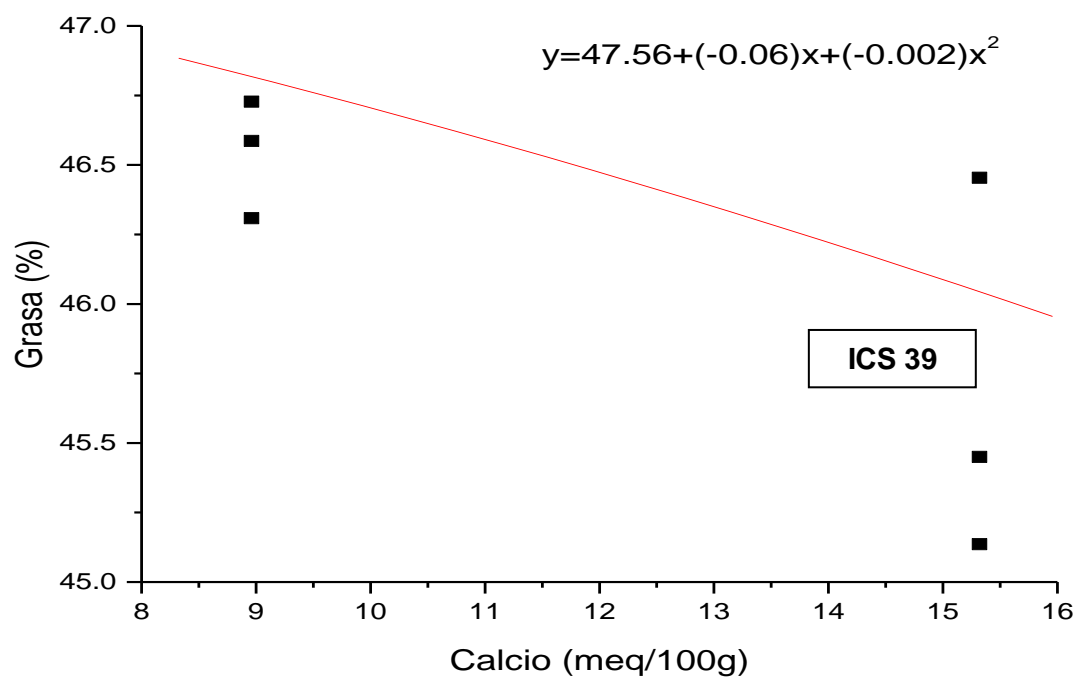
En la Figuras **22a**, **22b**, **22c**, se expresa la ecuación de regresión polinomial  $Y = A + B_1 \cdot X + B_2 \cdot X^2$  que nos permitirá construir un modelo estadístico que describe el impacto de un solo factor que describe el valor cuantitativo con respecto al contenido de grasa (%), en una variable dependiente (Y) en este caso el calcio (meq/100g), para conocer el efecto del suelo; en este caso la relación del contenido de grasa Vs el contenido de calcio representa una ecuación de primer grado.

Los resultados muestran que el valor del  $X^2$  es pequeño, así que necesita un modelo de al menos segundo orden para describir adecuadamente la relación entre la grasa y el calcio.



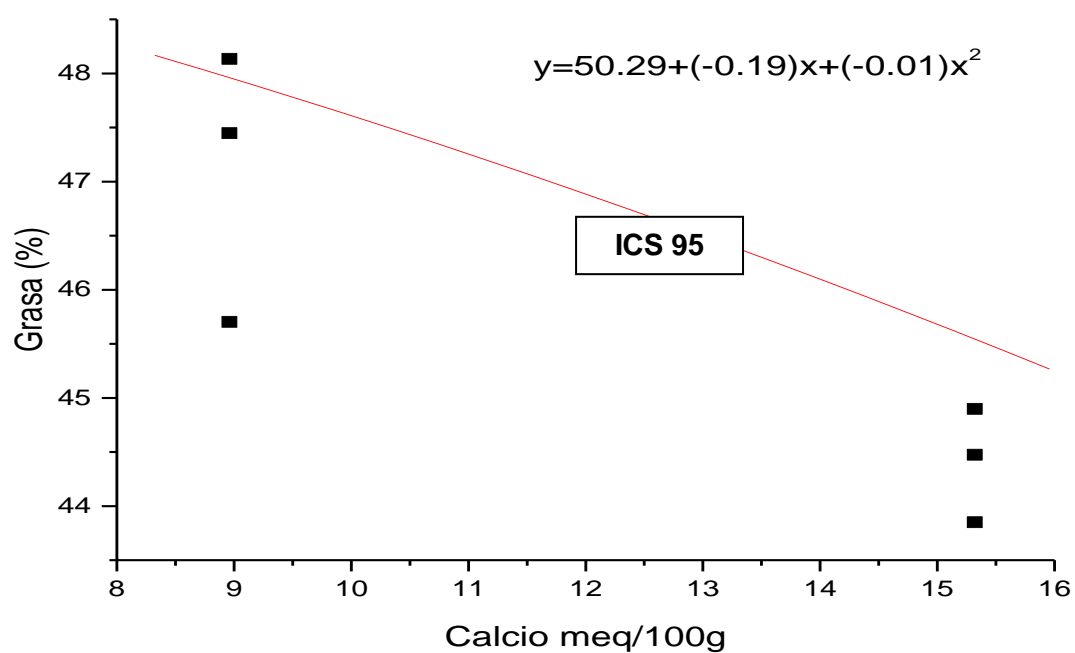
(a)

Figura 22a. Regresión polinomial del contenido de grasa (%) Vs la concentración de calcio (meq/100g) presente en los suelos en el clon CCN 51, (Fuente: Propia).



(b)

Figura 22b. Regresión polinomial del contenido de grasa (%) Vs la concentración de calcio (meq/100g) presente en los suelos en el clon ICS 39, (Fuente: Propia).



(c)

Figura 22c. Regresión polinomial del contenido de grasa (%) Vs la concentración de calcio (meq/100g) presente en los suelos en el clon ICS 95, (Fuente: Propia).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### ❖ Conclusiones:

- El peso de los clones CCN 51, ICS 39 y ICS 95, presenta diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), siendo el ICS 39 el clon sobresaliente en las dos localidades.
- El largo, ancho y espesor de los tres clones en estudio no presentan diferencia significativa, pero el clon ICS 39 destaca ante los clones CCN 51 e ICS 95 en las dos zonas.
- El contenido de grasa, fibra, proteína y cenizas de los CCN 51, ICS 39 y ICS95, se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la tabla de composición de alimentos, mientras que los valores del contenido de humedad fueron más altos.
- El clon ICS 95 presenta mayor porcentaje de proteína, ceniza y humedad, mientras que el clon ICS 39 destaca con mayor porcentaje de grasa a comparación del CCN 51 con un alto contenido de fibra y carbohidratos en las dos zonas.
- Los reogramas respectivos, para todas las temperaturas y clones estudiados, indicaron que la viscosidad aparente disminuyó con el incremento de la velocidad de deformación y de la temperatura, donde aproximadamente hasta  $75(s^{-1})$  la viscosidad se reduce drásticamente.
- El modelo reológico de Herschel – Bulkley fue el que presentó mejor ajuste con un ( $R^2 > 0.99$ ), donde los valores de  $\tau_0$ ,  $n$  y  $k$  fluctuaron entre  $25.49 \pm 4.41$  a  $109.71 \pm 4.72$ ,  $0.53 \pm 0.03$  a  $0.82 \pm 0.04$  y  $7.78 \pm 2.78$  a  $31.14 \pm 4.17$ , respectivamente.

**❖ Recomendaciones:**

- Para posteriores trabajos de investigación se debe tener en cuenta la oscilación de la temperatura de proceso para evitar fluctuación de resultados en las propiedades reológicas.
- Realizar trabajos de investigación con otros clones para conocer su calidad físico químico y comportamiento reológico.
- Realizar trabajos de investigación con otros materiales, formulación de mezclas alimentarias, concentraciones acuosas, etc, aprovechando el uso del equipo Reómetro Brookfield DV – III Ultra, además utilizando otros modelos reológicos.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Aceby, G. y Rodriguez A. (2002). *Manual sobre el manejo post cosecha del cacao*. Confederación Nacional de Cacaocultores Dominicanos. CONACADO. República Dominicana.
- Adriazola, J. (2003). *Producción del alimento de los dioses (Theobroma cacao L.)* Universidad Nacional Agraria de la Selva- Tingo María - Perú 65 p.
- Afoakwa, E. (2010). *“Chocolate Science and Technology”*. John Wiley & Sons: New Delhi, India.
- Alonso, L.; Larrodé, O. y Zapico, J. (1995). *Rheological behaviour of infant foods*. Journal of Texture Studies 26: 193-202.
- Alvarado J. (2001). *Métodos para Medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos*. España: Ed. Acribia.
- ANECACAO: *Asociacion Nacional de Exportadores de Cacao ECUADOR*, (2009). [On Line] Ecuador (<http://www.anecacao.com.ec>).
- Arévalo, E. (2004). *Cacao manejo integrado del cultivo y transferencia de tecnología en la amazonía peruana*. Ed. Del Castillo. Chiclayo-Perú.
- Armijos, A. (2002). *Caracterización de acidez como parámetro químico de calidad en muestras de cacao (Theobroma cacao L.) fino y ordinario de producción Nacional durante la fermentación*, Tesis Lic. En Química, Quito, Ecuador, Pontificia Universidad Católica 103 p.
- Asociación Naturland. (2000). *Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico. Perú*. Guía técnica N° 2. 24 p.
- Asociación Peruana De Productores De Cacao (APPCACAO). (2013). *Situación de la producción de cacao en la Región de San Martín*.
- Bartley, B. *The Genetic Diversity of Cocoa and its Utilization*. First Edition, CABI Publishing. Oxfordshire – U. K. Pag. 337.
- Baños, P. S. L. (2010). *“Evaluación de 61 progenies híbridas de cacao en base a las características organolépticas”* Tesis de grado previa a la obtención de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias de la Escuela de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica estatal de Quevedo. Ecuador, pp. 23-24.
- Cabral, et al. (2002). *Química de los alimentos Mecanismos y Teoría*. Editorial Acribia, S.A. pp. 117-164.
- Calderón, L. (2002). *Evaluación de los compuestos fenólicos del cacao (Theobroma cacao L.) de tipo fino y ordinario de producción nacional durante la fermentación en*

- relación a la calidad*. Tesis Lic. Química. Quito, Ecuador. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 114 p.
- Castillo, R. (2009). *Influencia de las Características del Cacao en Grano (Theobroma cacao L.) como Materia Prima sobre la Calidad del Chocolate de Mesa*- Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- CORPOICA. (2001). *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*. [On Line]. Colombia. (<http://www.corpaica.com.col>).
- Cooperativa Agraria Cacaotera Acopagro (2013), *Manuel de Buenas Prácticas de Manufactura en Cacao*.
- Cheftel, J. C.; Cheftel, H. y Besacon, P. (1983). *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*. Zaragoza: Acribia. pp. 47-80.
- Crespo, E.; y Crespo, F. 1997. Cultivo y beneficio del cacao CCN-51. Ed. El Conejo.
- Díaz, S.; y Pinoargote, M. (2012). *Análisis de las Características Organolépticas del Chocolate a partir de Cacao CCN51 Tratado Enzimáticamente y Tostado a Diferentes Temperaturas*."Guayaquil – Ecuador.
- Donovan J. (2006). *Diversification in international cacao markets: opportunities and challenges for smallholder cacao enterprises in Central America*. A consultancy report prepared by RUTA. 135 p
- Desrosier, N. (2007). *Elementos de tecnología de alimentos*. Ed. Continental.Mexico.p.585-606.
- Egawa, T. (2007). *Determination of effective shear rates in rotational viscometers with complex geometries*. Journal of TextureStudies 15: 327-335.
- Enriquez (2004). *Cacao orgánico, guía para productores ecuatorianos*. INIAP. Manual No. 54. Quito EC. p. 39 294.
- FAO. (2000). *Inocuidad y Calidad de los alimentos en relación con la agricultura orgánica*, 22º Conferencia Regional de la FAO para Europa, oporto Portugal. Consultado el 30 de septiembre del 2005 disponible en [www.fao.org/docrep/meeting/x49835.htm](http://www.fao.org/docrep/meeting/x49835.htm)
- FAO (2005), *Organización de las Naciones Unidas*. [On Line] Estados Unidos (<http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=291&lang=es>).
- García, R., P. (2009). *Clasificación Intraespecífica de 14 Árboles Híbridos Seleccionados de Cacao (Theobroma cacao L), mediante Análisis de Conglomerados en la Estación de Tulumayo*. Tesis Ing. Agrónomo, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (en prensa).

- García, L. (2010). *Catálogo de Cultivares de Cacao del Perú*. Ministerio de Agricultura. Lima – Perú. Guía técnica N° 3. Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas-DEVIDA. Lima. 112 p.
- Geankoplis, C.J. (1986). “*Procesos de transporte y operaciones unitarias*”. 3° ed., Editorial continental. México.
- Graziani, L. F. (2003). *Calidad del cacao, Memorias del Primer Congreso Venezolano del Cacao y su Industria*, Instituto de Química y Tecnología, Facultad de Agronomía. UCV. Consultado el 18 de Enero del 2005 disponible en [www.Cacao.sian.info.ve/memorias/html/18html](http://www.Cacao.sian.info.ve/memorias/html/18html).
- Guerrero B., Rodriguez J. (2006) “*Diseño del sistema de esterilización experimental en la obtención de licor de cacao*”. Tesis pregrado Universidad de Guayaquil-Ecuador.
- Guerrero, M. (2007), *Diagnostico y propuesta de parámetros para la estandarización y homogenización del tratamiento postcosecha de cacao*, Lima, Perú.
- Gutiérrez, J. (2000). *Cacao producto fino y de aroma, en cultivos controlados*, (Julio 2002, Quito Ecuador), Vol. 2, p. 12.
- Ibarz, A. Y Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos*. Technomic Publishing Company, Inc. Pennsylvania-USA. pp. 85-204.
- ICT. (2003). *Informe anual de proyecto de renovación y rehabilitación de plantaciones de cacao en la Cuenca del Huallaga*. Instituto de cultivos Tropicales. Tarapoto, Perú.
- Jiménez, M. (2006). “*Reología de Fluidos Newtonianos y No Newtonianos*”. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza (España).
- Kyereme, M., Hale, S.A., y Farkas, B.E. (1999). *Modeling the temperatura effect on the flow behavior of sweet patato puree*. J. Food Process Engineering 22, 235-247.
- Lannes, R. (2002). “*Estudio das propriedades físico-químicas de textura de chocolate, 1997. 175f. Tese (Doutorado em Tecnologia Bioquímico-Farmaceutica)* – Faculdade de Ciencias Farmacéuticas, Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, 1997.
- Lara Porras, A.M. (2000). “*Diseño Estadístico de Experimentos, Análisis de la Varianza y Temas Relacionados: Tratamiento Informático mediante SPSS.*” Proyecto Sur de Ediciones.
- Levenspiel, O. (2003). “*Flujo de Fluidos e Intercambio de Calor*, edición en español”, Ed. Reverté, España.
- Loayza, W. (2014). *Influencia de la frecuencia de remoción durante la fermentación en la calidad sensorial del cacao de Satipo*, Lima, Perú.

- Loncarevic I., Pajin B., Petrovic J., Zaric D., Sakac M., Torbica A., Lloyd D., M., Omorjan R., (2015). “*El impacto de las propiedades reológicas del cultivo de girasol y de la lecitina de colza en crema de cacao*” *The impact of sunflower and rapeseed lecithin on the rheological properties of spreadable cocoa cream*.
- Maldonado O., (2015) “*Estudio reológicos de la pulpa de uva isabella (vitis labrusca) a diferentes concentraciones y temperaturas. Tesis pre grado*, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto, Perú.
- Martinez Icarte, Rodrigo Marcelo. (2002). *Caracterización del comportamiento reológico de sopa crema orientada al control de calidad. Tesis (licenciado en ingeniería de alimentos)*. Valdivia, Chile, Universidad austral de chile, facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Ingeniería en Alimento 150p.
- MINAG (2013), *MINISTERIO DE AGRICULTURA, Series Históricas de producción agrícola*.
- Morales K., Gómez O., (2010). “*Obtención y caracterización del licor de cacao en los clones CCN 51, TSH 812 y SCC 13*” Tesis pregrado Ingeniero químico. Universidad Industrial de Santander facultad de ingeniería físico químicas Bucaramanga- Colombia.
- Müller, H. G. (1973). *Introducción a la reología de los alimentos*. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 174 p.
- Panchi G. (2013), “*Determinación de parámetros reológicos en bebidas de frutas con diferentes concentraciones de sólidos solubles mediante el uso del equipo universal ta – xt2i*”, Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, carrera ingeniería en alimentos.
- Perez, P. (2006). *Programa de capacitación en la cadena del cacao*. Ecuador Guías técnicas N° 2: poscosecha del cacao.57 p
- Pons, J.C. Y Sivardiere, P. (2002). *Manual de capacitación; Certificación de calidad de los alimentos orientada a sellos de atributos de valor en países de América Latina*. Consultado el 28 de Noviembre del 2005 disponible en ([www.fao.org/foro/alimentos](http://www.fao.org/foro/alimentos)).
- Ramos J. (2013), “*Influencia de la molienda en las propiedades reológicas del licor de cacao (Theobroma cacao L.)*”. Tesis pre grado, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto, Perú.
- Romero García, Alberto. (2008). *Estudio reológico y microestructural de emulsiones y geles de concentrados proteicos de cangrejo*. Tesis doctoral (Doctor con mención



- Europea). Sevilla, España, Universidad de Sevilla, departamento de ingeniería química, 316 p.
- Steffe, J.F. (1996) . *Rheological Methods in Food Process Engineering*, 2nd Ed. Freeman Press, East Lansing, Michigan State, USA. 418 p.
- Serpil, S., & Gulum, S. S. (2010). *Propiedades físicas de los alimentos*. Zaragoza: Acribia.
- TABLA PERUANA DE COMPOSICIÓN PERUANA (2009), *Centro Nacional de Alimentación y Nutrición Instituto Nacional de Salud* – Lima, Perú.
- Torres, O.; Graziani De Fariñas L.; Ortiz De Bertorelli, L. Y Trujillo, A. (2004). “*Efecto del tiempo transcurrido entre la cosecha y el desgrane de la mazorca del cacao tipo forastero de Cuyagua sobre características del grano en fermentación*”. *Agronomía tropical*. 54(4), pp. 481-495.
- UNIVERSAL TAXONOMIC SERVICES (2008) “*Taxon: teobroma cacao linnaeus – cocoa*”. <http://taxonomicon.taxonomy.nl/Taxontree.aspx?id=6284>
- Wakao H., (2002). *Estudio de la variación del contenido de alcaloides en cacao (Theobroma cacao L.) de producción nacional durante el proceso de beneficio*, (Tesis de Licenciatura en Ciencias Químicas, especialidad Química Analítica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas, Quito-Ecuador, Pág. 91.
- Whitney, H. (2001). *Métodos de fermentación de cacao (Theobroma cacao L.)*. [On Line] ([http://www.scielo.org.ve/phpS0378&script\\_PDF](http://www.scielo.org.ve/phpS0378&script_PDF) febrero 2003).

## ANEXOS

### Anexo 1:

*Datos experimentales obtenidos para el cálculo de Esfuerzo umbral ( $y$ ), índice de consistencia ( $k$ ) e índice de flujo ( $\eta$ )*

Bloques	T°	Clones	Yo	K	n
1	60	-1	55.2800	18.8400	0.7441
1	60	-1	55.3788	19.4559	0.7354
1	60	-1	55.1811	18.2194	0.7528
1	60	0	39.5068	14.1731	0.7527
1	60	0	27.9989	17.7213	0.7071
1	60	0	26.0477	30.1122	0.6492
1	60	1	105.2107	17.9606	0.8279

1	60	1	114.6332	20.4543	0.8010
1	60	1	109.2914	21.1120	0.7948
1	70	-1	56.3229	9.5512	0.8273
1	70	-1	56.4286	11.5524	0.7779
1	70	-1	57.8141	8.1938	0.8530
1	70	0	29.7482	19.7721	0.6279
1	70	0	25.7930	20.6295	0.6161
1	70	0	20.9364	23.8965	0.5861
1	70	1	129.3559	8.9182	0.9054
1	70	1	105.9991	22.2295	0.7173
1	70	1	91.4022	25.9076	0.6847
1	80	-1	54.6022	7.9616	0.8011
1	80	-1	53.5499	4.9133	0.9031
1	80	-1	46.2358	10.4684	0.7423
1	80	0	30.4852	15.6669	0.6160
1	80	0	35.7367	14.5918	0.6318
1	80	0	36.5292	12.8932	0.6641
1	80	1	80.3872	19.9360	0.6967
1	80	1	83.0185	12.6962	0.7768
1	80	1	78.6209	12.9566	0.7813
2	60	-1	84.6700	17.1600	0.7713
2	60	-1	85.7388	13.2068	0.8219
2	60	-1	83.6081	21.1158	0.7207
2	60	0	50.1404	31.9403	0.5959
2	60	0	50.5935	29.7875	0.6192
2	60	0	50.3700	30.8600	0.6075
2	60	1	67.3811	21.6017	0.7227
2	60	1	72.8149	17.9161	0.7635
2	60	1	64.2586	24.7073	0.6940
2	70	-1	85.8108	15.9851	0.7163
2	70	-1	66.9607	20.3726	0.6685
2	70	-1	79.0301	15.8057	0.7195
2	70	0	33.6000	31.0500	0.5732
2	70	0	37.5319	27.4665	0.5969
2	70	0	29.5911	34.6435	0.5496
2	70	1	70.9377	18.1858	0.6932
2	70	1	80.7082	17.5814	0.6987
2	70	1	74.5147	17.9269	0.6971
2	80	-1	69.9060	8.3461	0.7954
2	80	-1	59.4566	14.5108	0.6873
2	80	-1	65.2589	15.8265	0.6685
2	80	0	25.9000	31.1400	0.5265
2	80	0	21.8460	35.3043	0.4996
2	80	0	29.9605	26.9710	0.5533
2	80	1	72.9086	35.5442	0.5105
2	80	1	70.5165	25.0359	0.5760
2	80	1	78.4391	18.1149	0.6403

## Anexo 2.

*ANVA y efectos estimados de datos experimentales del esfuerzo umbral (y), índice de consistencia (k) e índice de flujo (η).*

ANOVA; Var.:Yo; R-sqr=.74318; Adj.:71039 (Spreadsheet1)

2 factors, 2 Blocks, 54 Runs; MS Residual=194.9637

Esfuerzo Umbral (y)

Factor	SS	df	MS	F	p
Blocks	0.02	1	0.02	0.0001	0.992589
(1)Temperatura (°C)(L)	1164.47	1	1164.47	5.9728	0.018336
Temperatura (°C)(Q)	50.03	1	50.03	0.2566	0.614814

(2)Clon (L)	3993.50	1	3993.50	20.4833	0.000041
Clon (Q)	21308.27	1	21308.27	109.2935	0.000000
1L by 2L	0.05	1	0.05	0.0003	0.986678
Error	9163.29	47	194.96		
Total SS	35679.64	53			

Effect Estimates; Var.:Yo; R-sqr=.74318; Adj:.71039

(Spreadsheet1)

2 factors, 2 Blocks, 54 Runs; MS

Residual=194.9637

Esfuerzo umbral

Factor	Effect	Std.Err.	t(47)	p	-95.%	+95.%	Coeff.	Std.Err.	-95.%	+95.%
Mean/Interc.	34.8232	4.248787	8.19604	0.000000	26.2758	43.3707	34.82324	4.248787	26.2758	43.37070
Bloque(1)	0.0355	3.800231	0.00934	0.992589	-7.6096	7.6806	0.01774	1.900116	-3.8048	3.84028
(1)Temperatura (°C)(L)	-11.3748	4.654313	-2.44392	0.018336	-20.7380	-2.0115	-5.68739	2.327157	-10.3690	-1.00575
Temperatura (°C)(Q)	-4.0838	8.061507	-0.50658	0.614814	-20.3015	12.1338	-2.04192	4.030754	-10.1507	6.06691
(2)Clon (L)	21.0647	4.654313	4.52585	0.000041	11.7014	30.4280	10.53236	2.327157	5.8507	15.21400
Clon (Q)	84.2779	8.061507	10.45435	0.000000	68.0602	100.4955	42.13893	4.030754	34.0301	50.24776
1L by 2L	0.0957	5.700347	0.01679	0.986678	-11.3719	11.5633	0.04785	2.850173	-5.6860	5.78165

ANOVA; Var.:k; R-sqr=.61272; Adj:.56328 (Spreadsheet1)

2 factors, 2 Blocks, 54 Runs; MS Residual=25.11445

Índice de consistencia(k)

Factor	SS	df	MS	F	p
Blocks	582.286	1	582.2861	23.18531	0.000016
(1)Temperatura (°C)(L)	111.890	1	111.8903	4.45522	0.040143
Temperatura (°C)(Q)	0.905	1	0.9048	0.03603	0.850275
(2)Clon (L)	319.812	1	319.8125	12.73420	0.000840
Clon (Q)	762.510	1	762.5102	30.36142	0.000001
1L by 2L	90.105	1	90.1052	3.58778	0.064369
Error	1180.379	47	25.1144		
Total SS	3047.888	53			

Fuente: Propia.

Effect Estimates; Var.:k; R-sqr=.61272; Adj:.56328

(Spreadsheet1)

2 factors, 2 Blocks, 54 Runs; MS Residual=25.11445

Índice de consistencia(k)

Factor	Effect	Std.Err.	t(47)	p	-95.%	+95.%	Coeff.	Std.Err.	-95.%	+95.%
Mean/Interc.	24.7402	1.524930	16.22385	0.000000	21.6725	27.8080	24.74024	1.524930	21.6725	27.80800
Bloque(1)	6.5675	1.363939	4.81511	0.000016	3.8236	9.3114	3.28376	0.681969	1.9118	4.65571
(1)Temperatura (°C)(L)	-3.5259	1.670477	-2.11074	0.040143	-6.8865	-0.1654	-1.76297	0.835239	-3.4433	-0.08269
Temperatura	0.5492	2.893351	0.18981	0.850275	-5.2715	6.3699	0.27459	1.446676	-2.6357	3.18493

(°C)(Q)

(2)Clon (L)	5.9611	1.670477	3.56850	0.000840	2.6005	9.3217	2.98055	0.835239	1.3003	4.66083
Clon (Q)	-15.942	2.893351	-5.51012	0.000001	-21.763	-10.1220	-7.97136	1.446676	-10.8817	-5.06102
1L by 2L	3.8752	2.045908	1.89414	0.064369	-0.2406	7.9911	1.93762	1.022954	-0.1203	3.99554

ANOVA; Var.:n; R-sqr=.7377; Adj.:70421 (Spreadsheet1)

2 factors, 2 Blocks, 54 Runs; MS Residual=.0027778

Índice de flujo ( $\eta$ )

Factor	SS	df	MS	F	p
Blocks	0.096831	1	0.096831	34.85857	0.000000
(1)Temperatura (°C)(L)	0.028397	1	0.028397	10.22268	0.002482
Temperatura (°C)(Q)	0.000169	1	0.000169	0.06098	0.806024
(2)Clon (L)	0.014578	1	0.014578	5.24806	0.026501
Clon (Q)	0.208293	1	0.208293	74.98451	0.000000
1L by 2L	0.018909	1	0.018909	6.80697	0.012139
Error	0.130557	47	0.002778		
Total SS	0.497734	53			

Effect Estimates; Var.:n; R-sqr=.7377; Adj.:70421

(Spreadsheet1)

2 factors, 2 Blocks, 54 Runs; MS

Residual=.0027778

Índice de  
flujo

Factor	Effect	Std.Err.	t(47)	p	-95.%	+95.%	Coeff.	Std.Err.	-95.%	+95.%
Mean/Interc.	0.607082	0.016038	37.85365	0.000000	0.57481	0.639346	0.60708	0.016038	0.57482	0.63935
Bloque(1)	-0.08469	0.014344	-5.90411	0.000000	-0.1135	-0.055834	-0.04235	0.007172	-0.05677	-0.0279
(1)Temperatura (°C)(L)	-0.05617	0.017568	-3.19729	0.002482	-0.0915	-0.020828	-0.02809	0.008784	-0.04576	-0.0104
Temperatura (°C)(Q)	0.007514	0.030429	0.24695	0.806024	-0.0537	0.068730	0.00376	0.015215	-0.02685	0.0344
(2)Clon (L)	-0.04024	0.017568	-2.29086	0.026501	-0.0756	-0.004904	-0.02012	0.008784	-0.03779	-0.0024
Clon (Q)	0.263498	0.030429	8.65936	0.000000	0.20228	0.324714	0.13175	0.015215	0.101141	0.16236
1L by 2L	-0.05613	0.021517	-2.60902	0.012139	-0.0994	-0.012851	-0.02807	0.010758	-0.04971	-0.0064

**Anexo 3:**

ANVA, datos experimentales de los análisis físicos de 03 clones de cacao.

Obs	bloq	trto	diam L	diam T	espesor	peso
1	1	CCN51	2.60	1.40	0.89	174.6
2	1	CCN51	2.41	1.46	0.89	170.5
3	1	CCN51	2.59	1.35	0.71	174.5
4	1	ICS95	2.37	1.32	0.91	148.6
5	1	ICS95	2.54	1.40	0.97	140.6
6	1	ICS95	2.14	1.36	0.64	142.5
7	1	ICS39	2.94	1.65	0.98	217.2
8	1	ICS39	3.04	1.44	1.06	203.5

9	1	ICS39	2.93	1.62	1.04	200.3
10	2	CCN51	2.52	1.39	0.83	165.2
11	2	CCN51	2.66	1.37	1.00	162.8
12	2	CCN51	2.50	1.25	1.12	165.0
13	2	ICS95	2.49	1.22	0.93	136.4
14	2	ICS95	2.29	1.40	1.00	134.2
15	2	ICS95	2.77	1.42	0.92	141.3
16	2	ICS39	2.96	1.55	1.05	201.1
17	2	ICS39	2.75	1.65	0.93	200.4
18	2	ICS39	2.74	1.38	1.27	213.8

**ANVA, diam L**

Fuente variación	Grado de Libertad	Suma de Cuadrado	Cuadro Medio del Error	Valor F	Pr>F
Bloque	1	0.00080000	0.00080000	0.03	0.8607
Tratamiento	2	0.68924444	0.34462222	13.77	0.0005
Error	14	0.35040000	0.02502857		
Total	17	1.04044444			
R-cuadrado	Coef Var	Media			
0.6632	6.028103	2.644			

**ANVA, diam T**

Fuente variación	Grado de Libertad	Suma de Cuadrado	Cuadro Medio del Error	Valor F	Pr>F
Bloque	1	0.00760556	0.00760556	0.97	0.3423
Tratamiento	2	0.14021111	0.07010556	8.91	0.0032
Error	14	0.11021111	0.00787222		
Total	17	0.25802778			
R-cuadrado	Coef Var	Media			
0.5728	6.2312	1.423			

**ANVA, espesor**

Fuente variación	Grado de Libertad	Suma de Cuadrado	Cuadro Medio del Error	Valor F	Pr>F
Bloque	1	0.05120000	0.05120000	3.59	0.0789
Tratamiento	2	0.09547778	0.04773889	3.35	0.0648
Error	14	0.19963333	0.01425952		
Total	17	0.34631111			
R-cuadrado	Coef Var	Media			
0.4235	12.54048	0.952222			

**ANVA, peso**

Fuente variación	Grado de Libertad	Suma de Cuadrado	Cuadro Medio del Error	Valor F	Pr>F
Bloque	1	150.80056	150.80056	5.43	0.0352
Tratamiento	2	12934.22111	6467.11056	232.94	<.0001
Error	14	388.68778	27.76341		
Total	17	13473.70944			
R-cuadrado	Coef Var	Media			
0.971152	3.066897	171.8056			

#### Anexo 4:

*ANVA, datos experimentales de los análisis químico de 03 clones de cacao.*

Obs	bloq	trto	gras	fib	prot	cen	hum	carb
1	1	CCN51	45.9328	10.1795	11.0619	2.2757	4.9685	25.5815
2	1	CCN51	46.9513	9.5949	11.0473	2.2847	4.8054	25.3163
3	1	CCN51	45.9648	9.3814	11.0495	2.2750	4.8494	26.4799
4	1	ICS95	46.7275	8.6780	11.7014	2.8030	4.9084	25.1816
5	1	ICS95	46.5859	8.6418	12.1833	2.8698	5.1174	24.6018
6	1	ICS95	46.6084	8.6040	12.1135	2.7961	5.1652	24.7126
7	1	ICS39	48.1339	9.5550	11.9937	2.7264	4.6522	22.9387
8	1	ICS39	47.8037	9.5389	11.7229	2.6636	4.4695	23.8014
9	1	ICS39	47.8481	9.5584	11.6726	2.7228	4.5483	23.6498

10	2	CCN51	44.8507	9.3684	11.4217	2.6123	4.9333	26.8137
11	2	CCN51	44.4743	9.3357	11.6979	2.5533	5.0888	26.8500
12	2	CCN51	44.8988	9.4389	11.5469	2.5619	5.0341	26.5195
13	2	ICS95	45.4541	8.5324	12.0638	2.7455	5.0717	26.1324
14	2	ICS95	45.4500	8.5041	12.0630	2.7237	5.0756	26.1836
15	2	ICS95	45.1362	8.5113	12.0837	2.7884	5.0382	26.4423
16	2	ICS39	46.6481	8.9490	12.0172	2.6484	4.3350	25.4023
17	2	ICS39	46.5181	8.7935	12.0464	2.6326	4.4641	25.5453
18	2	ICS39	46.6986	8.8558	12.0422	2.6530	4.3770	25.3734

### ANVA, Grasa

Fuente variación	Grado de Libertad	Suma de Cuadrado	Cuadro Medio del Error	Valor F	Pr>F
Bloque	1	8.58015313	8.58015313	120.53	<.0001
Tratamiento	2	9.96388776	4.98194388	69.98	<.0001
Error	14	0.9966031	0.07118594		
Total	17	19.54064399			
R-cuadrado	Coef Var	Media			
0.948998	0.576751	46.26031			

### ANVA, Fibra

Fuente variación	Grado de Libertad	Suma de Cuadrado	Cuadro Medio del Error	Valor F	Pr>F
Bloque	1	0.65849288	0.65849288	15.32	0.0016
Tratamiento	2	2.91290134	1.45645067	33.88	<.0001
Error	14	0.60181803	0.042987		
Total	17	4.17321225			
R-cuadrado	Coef Var	Media			
0.85579	2.275316	9.112278			

### ANVA, Proteína

Fuente variación	Grado de Libertad	Suma de Cuadrado	Cuadro Medio del Error	Valor F	Pr>F
Bloque	1	0.32986149	0.32986149	12.26	0.0035
Tratamiento	2	1.84399289	0.92199644	34.28	<.0001
Error	14	0.37659601	0.02689971		
Total	17	2.55045039			
R-cuadrado	Coef Var	Media			
0.852341	1.39565	11.75161			

### ANVA, Ceniza

Fuente variación	Grado de Libertad	Suma de Cuadrado	Cuadro Medio del Error	Valor F	Pr>F
Bloque	1	0.01400022	0.01400022	1.38	0.2592
Tratamiento	2	0.40806201	0.20403101	20.16	<.0001
Error	14	0.14169716	0.01012123		
Total	17	0.5637594			
R-cuadrado	Coef Var	gras Media			
0.748657	3.825566	2.629789			

### ANVA, Humedad

Fuente variación	Grado de Libertad	Suma de Cuadrado	Cuadro Medio del Error	Valor F	Pr>F
Bloque	1	0.00024568	0.00024568	0.02	0.8862
Tratamiento	2	1.16542715	0.58271358	50.37	<.0001
Error	14	0.16195092	0.01156792		
Total	17	1.32762375			
R-cuadrado	Coef Var	gras Media			
0.878014	2.227768	4.827894			

### ANVA, Carbohidrato

Fuente variación	Grado de Libertad	Suma de Cuadrado	Cuadro Medio del Error	Valor F	Pr>F
Bloque	1	9.38730007	9.38730007	56.87	<.0001
Tratamiento	2	9.94918817	4.97459409	30.14	<.0001
Error	14	2.310777	0.1650555		
Total	17	21.64726525			
R-cuadrado	Coef Var	gras Media			
0.893253	1.598349	25.41812			

### ANEXOS 5: *Datos tabulados de modelos reológicos – Sector Ahuihua*

MODELO	VARIABLES	AHUIHUA								
		CCN51			ICS39			ICS95		
		60	70	80	60	70	80	60	70	80
HERSCHEL BURKLEY (1)	Yo	61.07517	56.32286	54.60219	39.50679	29.7482	30.48519	105.2107	129.35592	80.38722
	K	7.25242	9.55117	7.9616	14.17311	19.77209	15.6669	17.96061	8.91817	19.93595
	n	0.94163	0.82725	0.8011	0.75272	0.62789	0.616	0.82789	0.90537	0.69674
	R2	0.99998	0.99998	0.99994	0.99837	0.99533	0.99587	0.99999	0.99987	0.99992
	CHI2	0.39307	0.26559	0.33575	14.73668	22.20953	10.82908	0.33562	2.44875	1.01266
HERSCHEL BURKLEY (2)	Yo	55.37884	56.42856	53.54992	27.99886	25.79296	35.7367	114.63323	105.99905	83.01852
	K	19.45586	11.55238	4.91325	17.72128	20.62949	14.59176	20.45431	22.229451	12.69623
	n	0.73541	0.77787	0.90312	0.70705	0.61609	0.6318	0.801	0.71728	0.7768
	R2	0.99995	0.99993	0.99994	0.99887	0.99649	0.9984	0.9999	0.99993	0.99995
	CHI2	0.066864	0.67133	0.3624	9.92109	15.95436	4.30294	0.40639	1.34987	0.60283



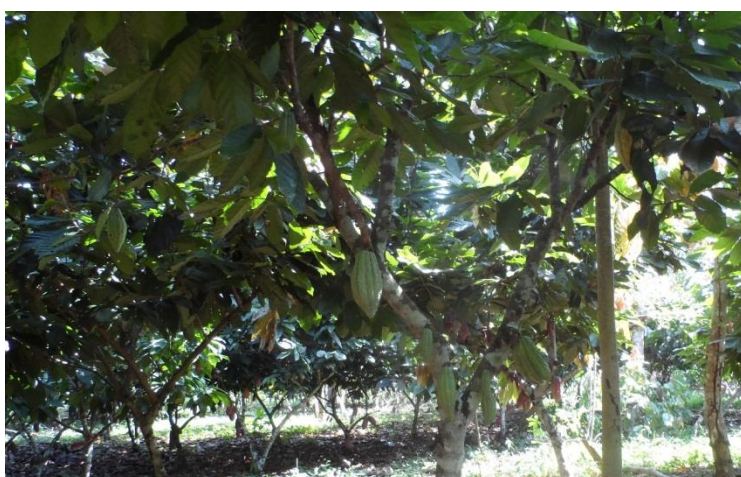
HERSCHEL BURKLEY (3)	Yo	55.18109	57.81409	46.23583	26.04766	20.93636	36.52919	109.29142	91.40224	78.6209
	K	18.21944	8.19378	10.4684	30.11217	23.89653	12.89317	21.11201	25.90756	12.95658
	n	0.75279	0.85298	0.74227	0.64918	0.58606	0.66411	0.79482	0.68471	0.78127
	R2	0.99995	0.99997	0.999988	0.99326	0.99814	0.99888	0.99999	0.99996	0.99997
	CHI2	0.95298	0.30022	0.65945	93.49757	8.18139	3.32949	0.25129	0.66776	0.422
LEY DE LA POTENCIA (1)	K	19.5765	25.06407	25.13917	25.13471	30.89259	27.81874	54.87993	46.26187	50.92301
	n	0.74188	0.6382	0.57867	0.64461	0.54715	0.513116	0.60856	0.58077	0.52016
	R2	0.99622	0.99638	0.9949	0.9978	0.99489	0.9951	0.99617	0.98956	0.99652
	CHI2	71.65487	32.2917	29.74187	21.67263	24.28489	12.84413	142.58892	203.9351	43.51158
LEY DE LA POTENCIA (2)	K	37.01444	29.03784	18.59563	26.04637	30.41284	28.67924	47.14482	62.21936	40.91441
	n	0.61171	0.59963	0.63953	0.63506	0.54607	0.51045	0.63817	0.52308	0.55166
	R2	0.99836	0.99667	0.99321	0.99852	0.99616	0.99731	0.99633	0.9959	0.99467
	CHI2	29.71563	32.47668	40.81346	12.98025	17.4742	7.23031	137.28428	78.80426	60.19928
LEY DE LA POTENCIA (3)	K	34.96512	23.51401	26.11964	38.84261	32.28182	26.29825	53.93111	61.4038	38.72727
	n	0.62676	0.64544	0.56799	0.60239	0.53237	0.53445	0.61204	0.52255	0.56978
	R2	0.99829	0.99571	0.99665	0.99317	0.99794	0.99766	0.99654	0.9971	0.99532
	CHI2	32.36865	44.09943	18.59563	94.75287	9.066	6.93856	129.11985	54.09742	57.58784
CASSON (1)	K	5.27E-14	1.21E-14	2.22E-14	3.59E-14	6.12E-14	1.11E-13	4.88E-14	6.49E-14	7.03E-14
	Kc	51.32048	43.36796	34.34549	46.92176	37.86577	29.44366	81.36856	63.61053	55.15009
	R2	0.92903	0.9625	0.9817	0.97056	0.99094	0.99475	0.96228	0.97573	0.99545
	CHI2	1536.6018	406.86137	106.62693	266.22361	43.06094	13.75901	1409.6208	474.16454	56.85173
CASSON (2)	K	1.37E-13	7.86E-14	3.29E-15	2.65E-17	2.54E-15	4.31E-13	1.97E-14	4.34E-13	5.40E-15
	Kc	57.6114	43.11326	32.37403	46.66454	37.1038	30.00482	84.23738	68.15674	50.14424
	R2	0.97417	0.97684	0.95912	0.97421	0.99236	0.99709	0.97313	0.99451	0.98836
	CHI2	467.15946	225.76624	245.75074	226.92511	34.75385	7.23031	1000.2778	105.46335	131.43768
CASSON (3)	K	8.49E-15	1.27E-13	3.13E-15	3.66E-14	2.16E-15	5.00E-14	3.01E-13	3.30E-13	8.74E-15
	Kc	57.81688	41.90821	34.18874	60.43258	37.12055	30.51645	83.87602	67.1155	50.96569
	R2	0.96869	0.95917	0.98637	0.97773	0.99596	0.99545	0.97217	0.99577	0.98447
	CHI2	591.25546	419.45945	76.88895	308.89686	17.7509	13.48969	1038.4296	78.95526	190.97548

**Anexo 6: Datos tabulados de modelos reológicos – Sector Montevideo**

MODELO	VARIABLES	MONTEVIDEO								
		CCN51			ICS39			ICS95		
		60	70	80	60	70	80	60	70	80
HERSCHEL BURKLEY (1)	Yo	104.1467	85.81084	69.90604	50.1404	-2.2528	9.73462	67.38106	70.93765	72.90855
	K	7.36332	15.98505	8.3461	31.94026	57.68069	44.99545	21.60171	18.18579	35.54419
	n	0.9459	0.71633	0.79535	0.59587	0.44409	0.45579	0.72268	0.6932	0.51051
	R2	0.99994	0.9999	0.99976	0.99315	0.98785	0.98204	0.99999	0.99999	0.99907
HERSCHEL BURKLEY (2)	CHI2	1.16992	0.96417	1.43826	60.19313	62.40229	64.85114	0.25111	0.14688	5.18693
	Yo	85.73875	66.96068	59.45659	50.59352	37.53185	21.84604	72.81487	80.7082	70.51651
	K	13.20681	20.37264	14.51076	29.78747	27.46645	35.30426	17.91612	17.58137	25.03586
	n	0.8219	0.66853	0.68728	0.6192	0.59688	0.49962	0.76353	0.6987	0.57602
HERSCHEL BURKLEY (3)	R2	0.99997	0.99996	0.99997	0.99733	0.99748	0.99196	0.99998	0.99996	0.99971
	CHI2	0.57566	0.45135	0.17871	26.17065	16.50753	29.50249	0.3327	0.44003	1.63106
	Yo	83.60813	79.03014	65.25892	8.80199	29.5911	29.96046	64.25856	74.51472	78.4391
	K	21.11577	15.80567	15.82645	53.17566	34.64353	26.97097	24.70727	17.92691	18.11485
	n	0.72072	0.71951	0.66846	0.51293	0.54956	0.55334	0.69398	0.69706	0.64027
	R2	0.99997	0.99994	0.99989	0.99038	0.99383	0.9922	0.99999	0.99998	0.9998
	CHI2	0.60829	0.58839	0.63734	93.38732	38.24395	30.62472	0.27436	0.24435	1.17366
LEY DE LA POTENCIA (1)	K	32.42236	49.11114	32.24689	52.53771	56.49667	50.10624	44.38829	45.62187	76.46421
	n	0.65039	0.50546	0.53603	0.50736	0.44754	0.43787	0.58466	0.52015	0.37927
	R2	0.99165	0.99516	0.99293	0.99261	0.98797	0.9822	0.99795	0.99672	0.99711
	CHI2	170.0854	48.78066	42.80612	64.97127	61.76416	64.28389	39.07285	32.90231	16.14003
LEY DE LA POTENCIA (2)	K	37.91885	47.0324	37.97412	49.44035	42.61942	46.01942	40.78618	46.82013	60.43892
	n	0.61603	0.51271	0.50756	0.5281	0.5185	0.4545	0.60421	0.51644	0.41934
	R2	0.999569	0.99729	0.99646	0.99673	0.99703	0.99187	0.99733	0.99642	0.99693
	CHI2	84.91323	27.26836	21.85926	32.0836	19.4417	29.82691	52.6159	36.24191	17.26678
LEY DE LA POTENCIA (3)	K	50.70235	45.46657	43.08384	57.17771	47.67984	40.31443	47.65382	49.45846	54.27006
	n	0.55437	0.52025	0.48322	0.50035	0.49366	0.48313	0.56914	0.50453	0.44038
	R2	0.99701	0.9957	0.99614	0.99046	0.99364	0.99188	0.9983	0.99587	0.99537
	CHI2	54.87478	43.74483	23.39614	92.55324	39.40622	31.8636	31.72329	40.95357	26.78439
CASSON (1)	K	6.52E-15	2.95841	3.52E-13	2.42E-11	885.7141	907.7823	5.68E-14	5.18E-14	4704.586
	Kc	58.96725	49.96242	37.21127	54.23776	41.59199	34.78823	61.89574	49.40371	37.67464
	R2	0.95347	0.9951	0.98975	0.99249	0.98772	0.98207	0.98258	0.99565	0.999909
	CHI2	948.3303	49.33633	62.03476	65.94385	63.08327	64.75686	331.8168	43.61871	5.09129
CASSON (2)	K	5.34E-14	4.00E-15	4.12E-12	1.72E-13	7.58E-14	484.2525	9.00E-14	3.41786	1830.743
	Kc	60.08096	49.47495	39.14629	55.81764	46.16237	35.22827	61.50751	50.10351	37.82747
	R2	0.97017	0.99686	0.99631	0.99522	0.99635	0.9994	0.97571	0.99584	0.9991
	CHI2	587.1763	31.61475	22.81113	46.85039	23.87535	29.19838	478.9244	41.21341	5.07379
CASSON (3)	K	6.78E-16	1.93E-13	114.4374	0.01113	22.36913	78.02819	3.38E-14	4.67E-15	1017.522
	Kc	62.88699	49.28314	38.79417	57.25187	45.8397	36.44621	62.54293	49.96763	38.31643
	R2	0.99013	0.99463	0.99692	0.99046	0.99371	0.99206	0.98755	0.9957	0.99773
	CHI2	181.4275	54.58361	18.6472	92.55525	39.02444	31.16728	232.1932	43.51523	13.13817

**ANEXO 7:**

*Identificación insitu de plantas por clones de cacao, CCN51(a), ICS95 (b), ICS 39 (c).*

**(a)****(b)****(c)**



**ANEXO 8:**

*Cosechado y fermentado del cacao por clones CCN 51, ICS 95 y ICS 39.*



Cosecha del cacao por clones



Proceso de fermentación en un cajón fermentador

**ANEXO 9:**

*Granos fermentados de cacao por clon*





**ANEXO 10:**

*Secado y almacenamiento de los clones de cacao en las localidades de Ahuihua y Montevideo.*



Proceso de secado solar

Granos secos del sector Ahuihua



Granos secos del sector Montevideo

**ANEXO 11:**

*Operaciones unitarias para la obtención de licor de cacao*



Proceso de tostado

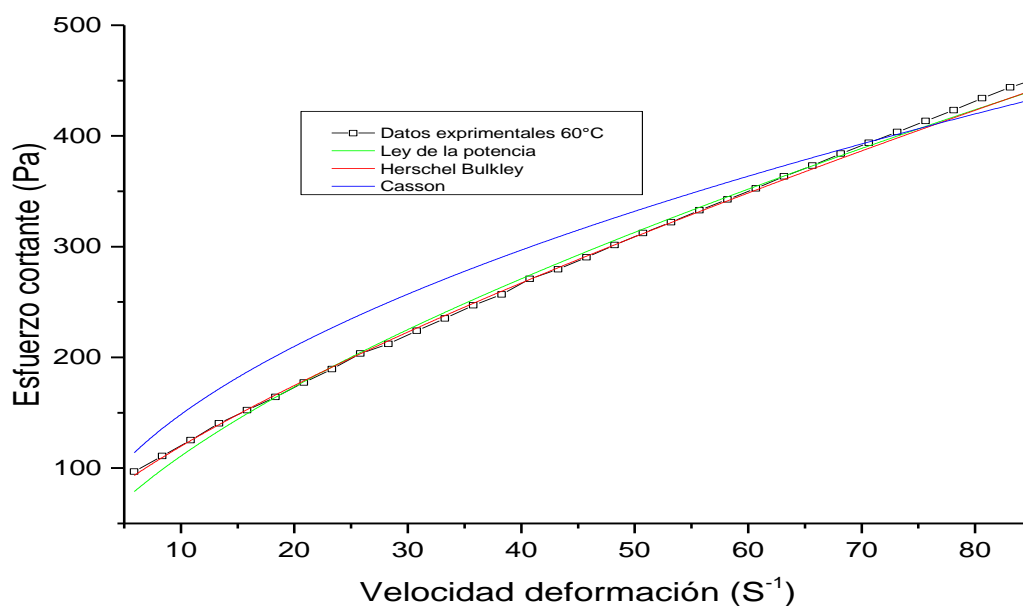
Obtención de los Nibs de cacao



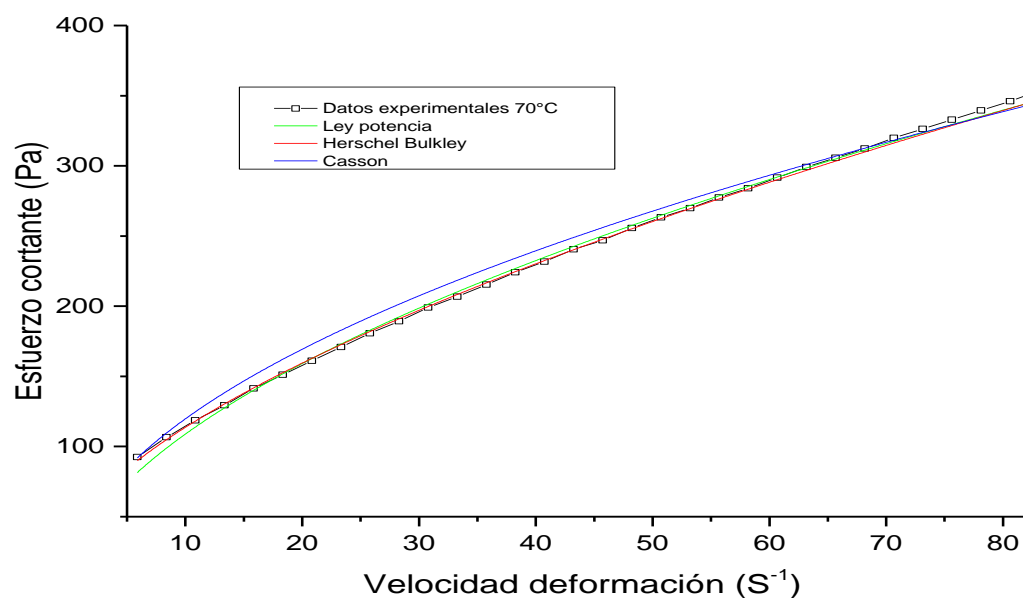
Conchado de los Nibs de cacao

**ANEXO 12:**

*Gráficos de los ajustes matemáticos en los 3 clones a tres temperaturas en las dos localidades.*



*Figura 14a.* Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos a 60°C, para el clon de cacao ICS 39 en la localidad de Ahuihua, (Fuente: Propia).



*Figura 14b.* Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos a 70°C, para el clon de cacao ICS 39 en la localidad de Ahuihua, (Fuente: Propia).



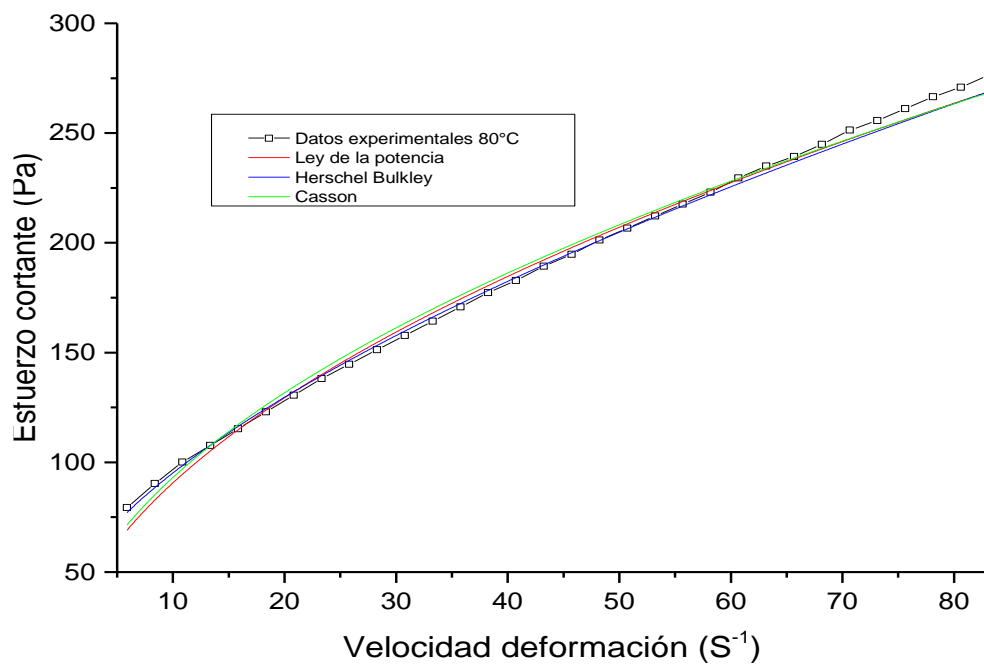


Figura 14c. Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos a 80°C, para el clon de cacao ICS 39 en la localidad de Ahuihua, (Fuente: Propia).

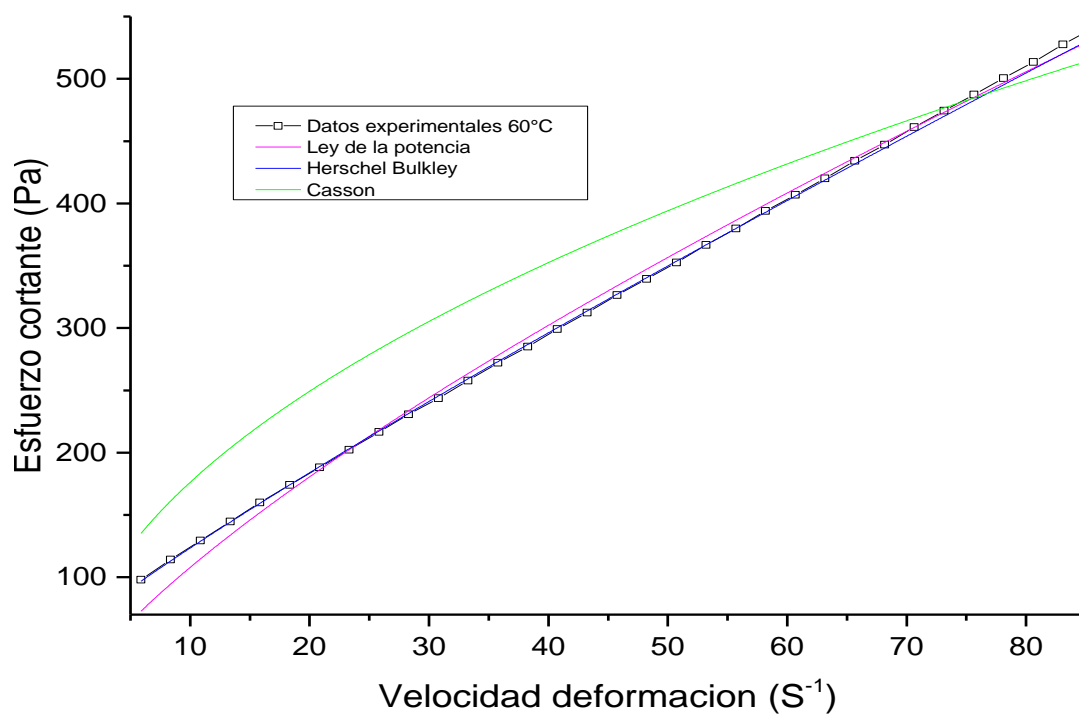
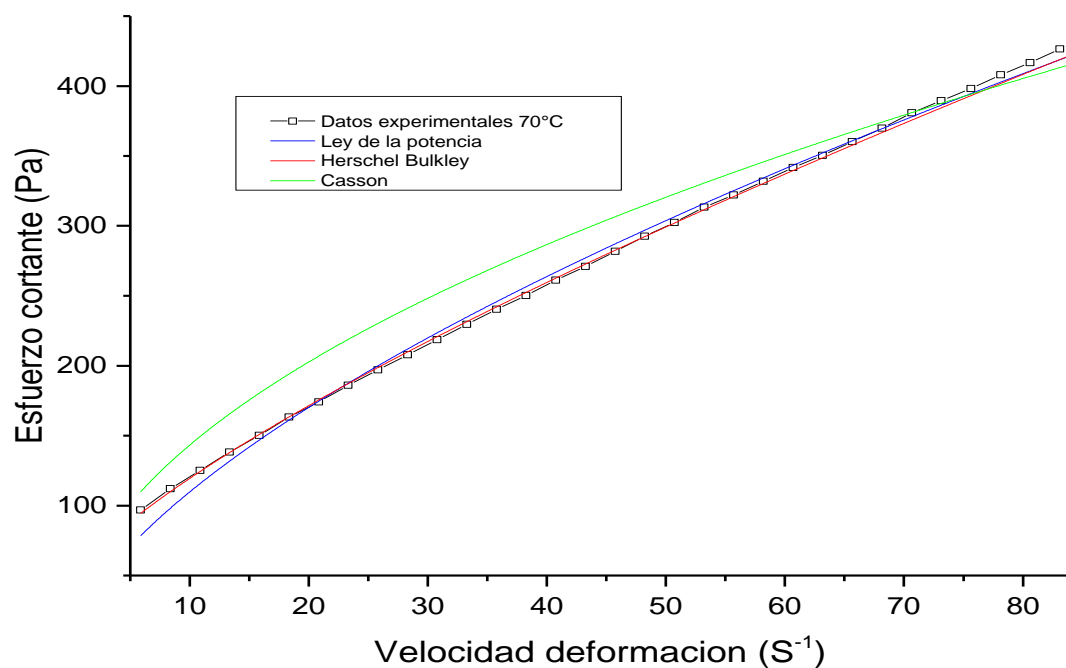
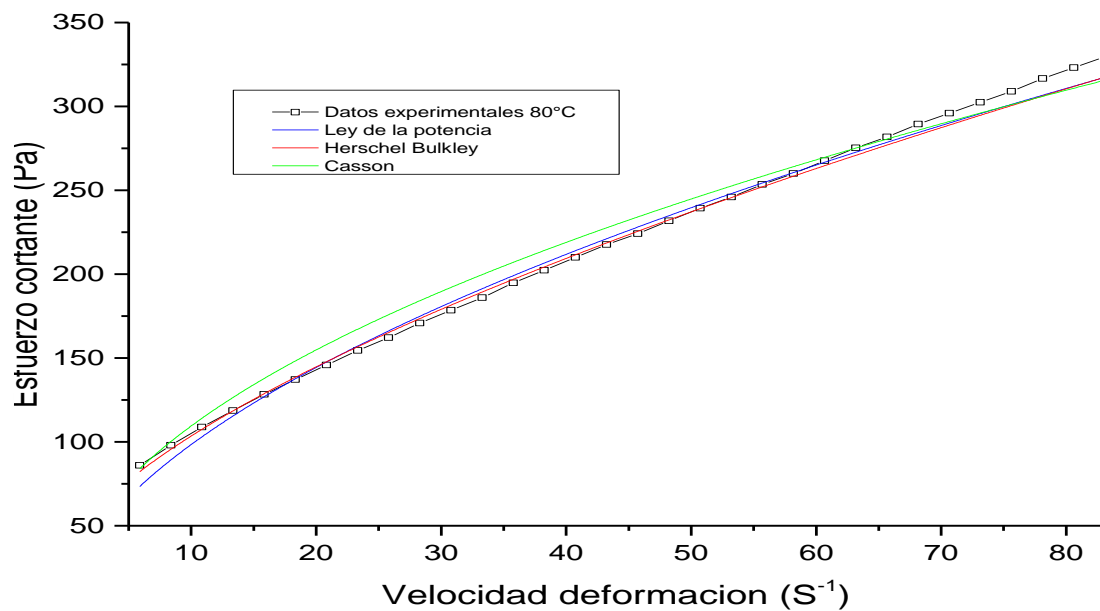


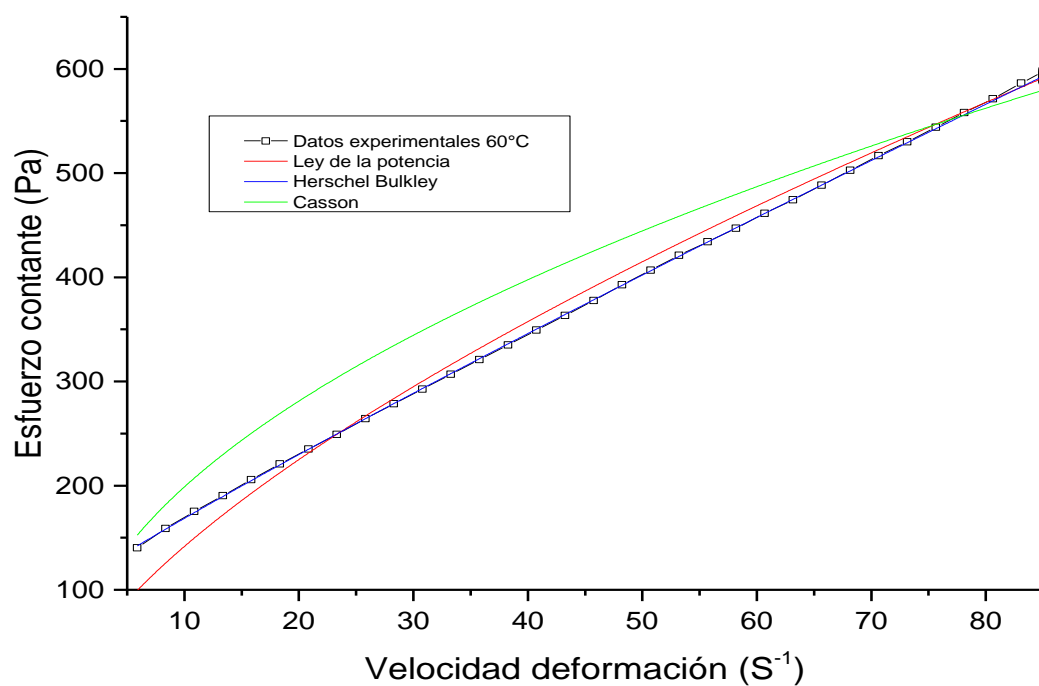
Figura 15a. Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos a 60°C, para el clon de cacao CCN51 en la localidad de Ahuihua, (Fuente: Propia).



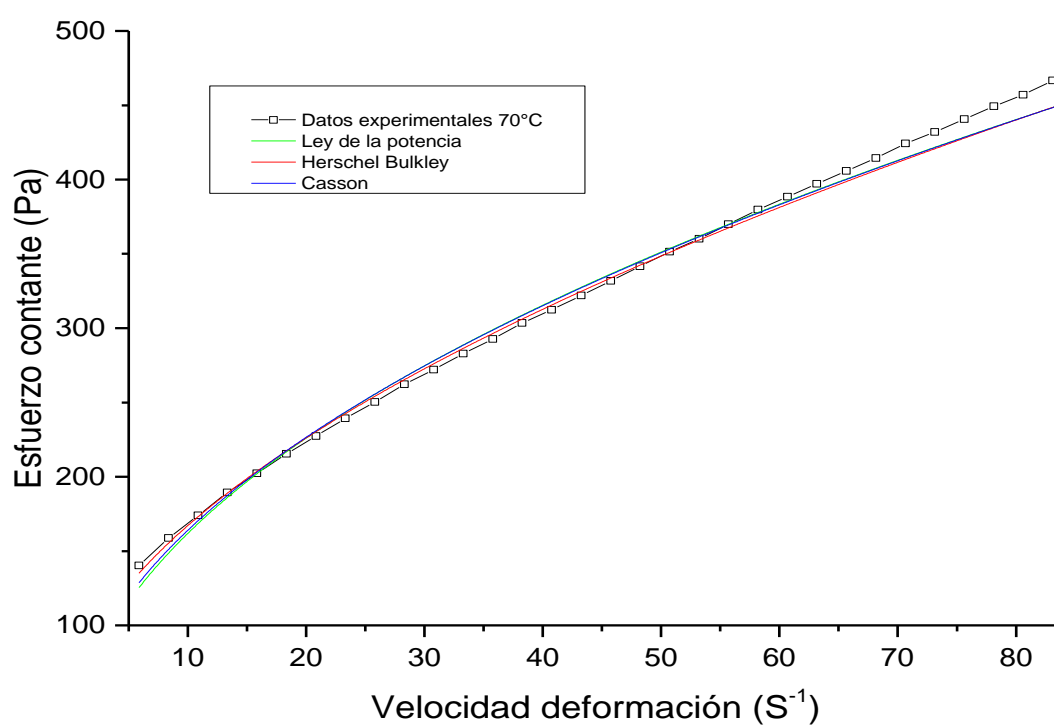
**Figura 15b.** Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos a 70°C, para el clon de cacao CCN51 en la localidad de Ahuihua, (Fuente: Propia).



**Figura 15c.** Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos a 80°C, para el clon de cacao CCN51 en la localidad de Ahuihua, (Fuente: Propia).



**Figura 16a.** Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos a 60°C, para el clon de cacao CCN51 en la localidad de Montevideo, (Fuente: Propia).



**Figura 16b.** Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos a 70°C, para el clon de cacao CCN51 en la localidad de Montevideo, (Fuente: Propia).

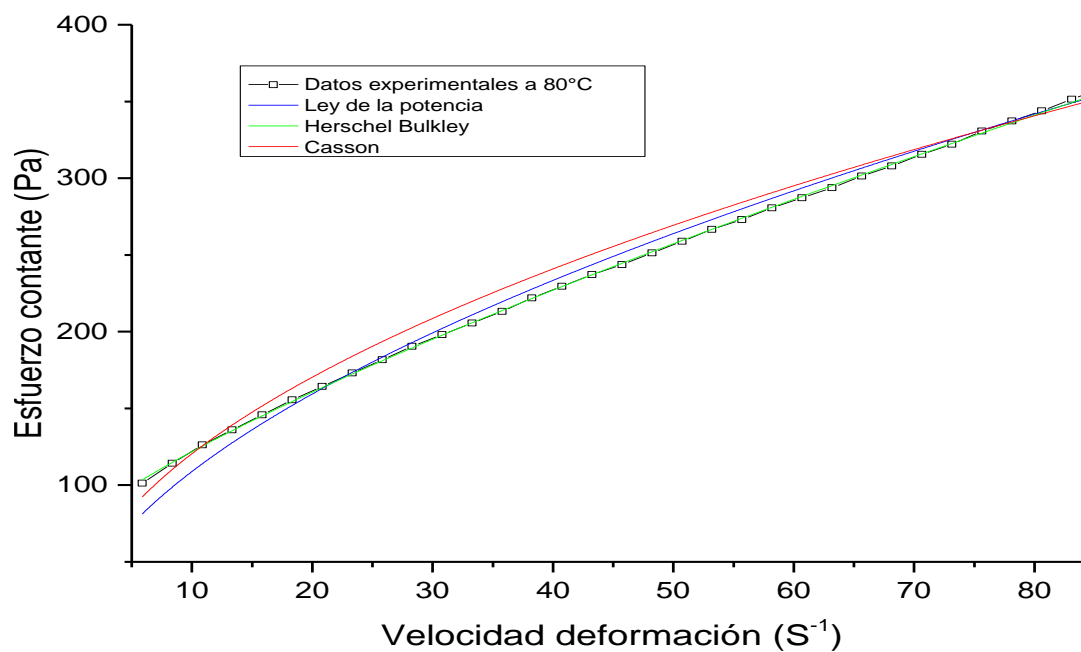


Figura 16c. Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos a 80°C, para el clon de cacao CCN 51 en la localidad de Montevideo, (Fuente: Propia).

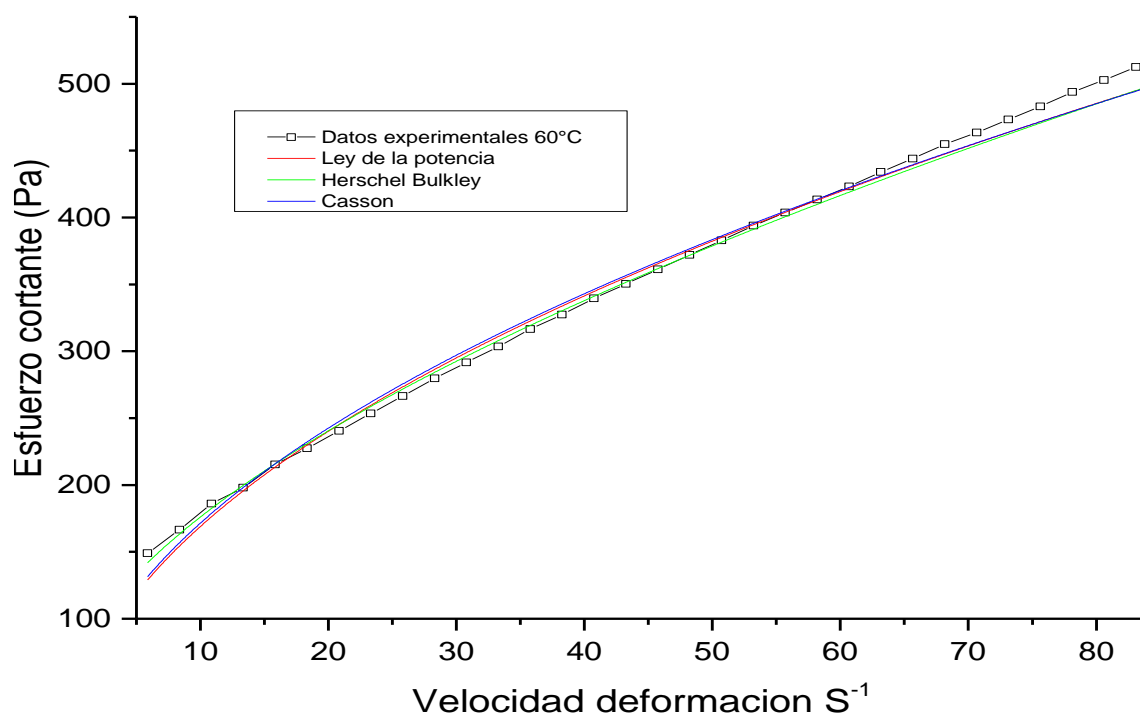


Figura 17a. Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos a 60°C, para el clon de cacao ICS39 en la localidad de Montevideo, (Fuente: Propia).

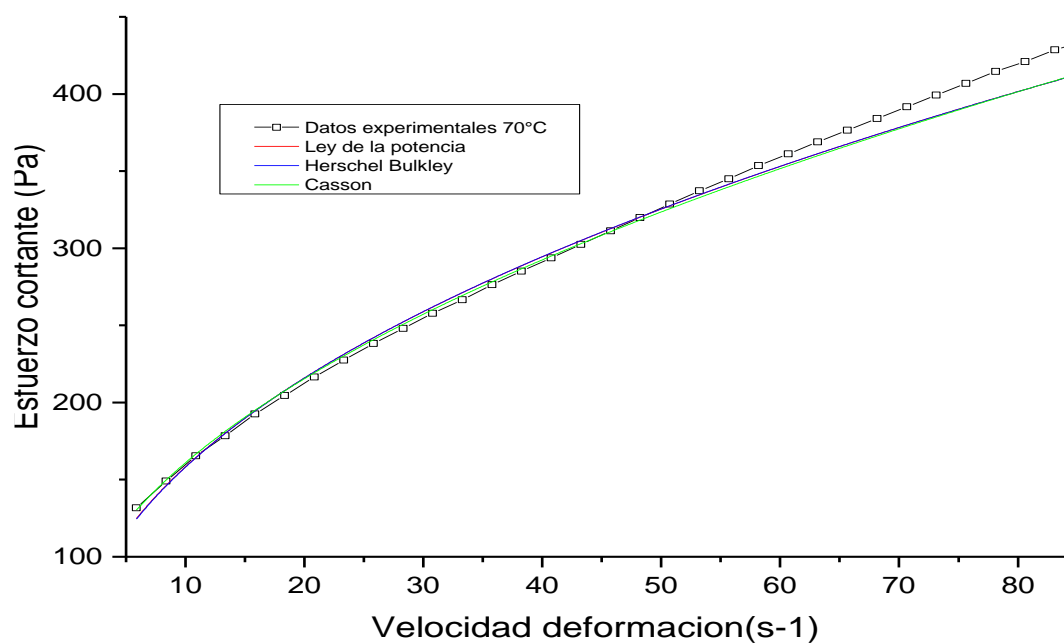


Figura 17b. Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos a 70°C, para el clon de cacao ICS39 en la localidad de Montevideo, (Fuente: Propia).

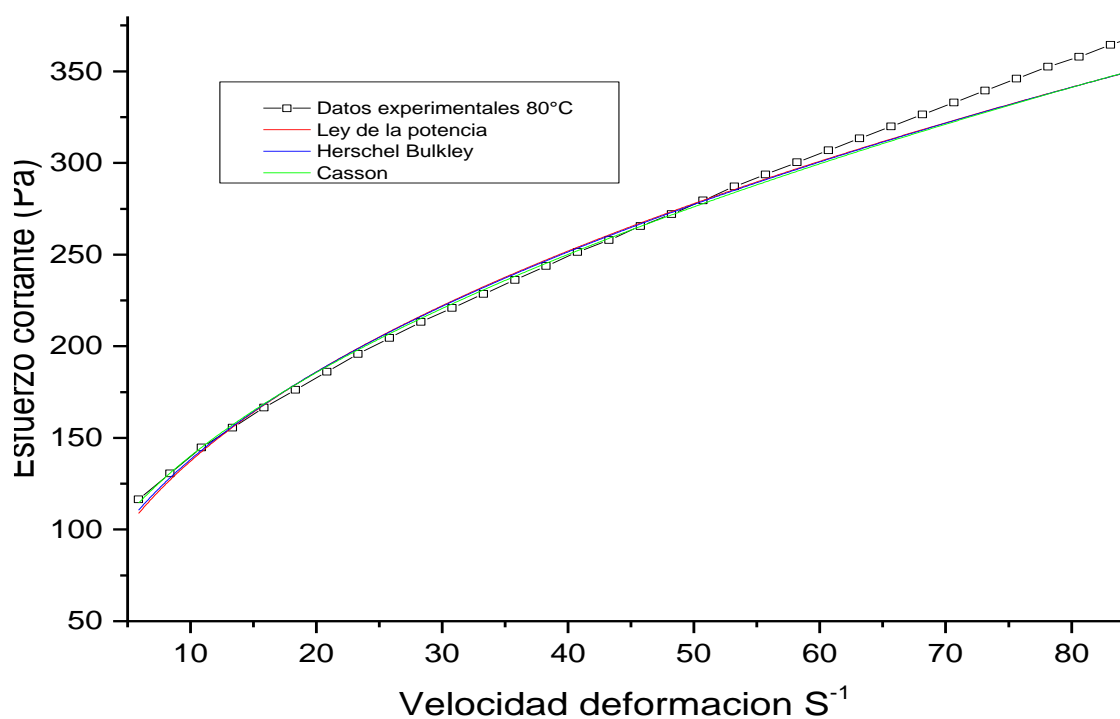


Figura 17c. Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos a 80°C, para el clon de cacao ICS39 en la localidad de Montevideo, (Fuente: Propia).